



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Veröffentlichung**
⑩ **DE 100 85 168 T 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
B 23 P 17/00
B 24 C 1/04
B 24 C 11/00
F 02 F 1/00
F 04 B 27/08

der internationalen Anmeldung mit der
⑧7 Veröffentlichungsnummer: WO 01/32352 in
deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
②1 Deutsches Aktenzeichen: 100 85 168.1
⑧6 PCT-Aktenzeichen: PCT/JP00/07766
⑧6 PCT-Anmeldetag: 2. 11. 2000
⑧7 PCT-Veröffentlichungstag: 10. 5. 2001
④3 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung
in deutscher Übersetzung: 31. 10. 2002

DE 100 85 168 T 1

③0 Unionspriorität:
11/313664 04. 11. 1999 JP
⑦1 Anmelder:
Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP
⑦4 Vertreter:
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336
München

⑦2 Erfinder:
Miyamoto, Noritaka, Toyota, Aichi, JP; Kodama,
Kouta, Toyota, Aichi, JP; Marumoto, Ikuo, Toyota,
Aichi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Ausbildung von Oberflächengrübchen und Bauteil mit Oberflächengrübchen

DE 100 85 168 T 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

03.05.02

- 1 -

BESCHREIBUNG

DE 100 85 168 T1

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur
Ausbildung von Oberflächengrübchen und ein Bauteil mit
5 solchen Oberflächengrübchen.

Stand der Technik

Angesichts des in letzter Zeit steigenden Umwelt-
10 bewusstseins besteht bei Kraftfahrzeugen im Hinblick auf
Energieeinsparungen der dringende Bedarf nach einem
besseren Kraftstoffverbrauch (Reichweite). Durch die
Senkung mechanischer Verluste des Motors lässt sich die
Reichweite eines Kraftfahrzeugs wirksam verbessern.
15 Mechanischer Verlust entsteht hauptsächlich durch den
Kolbenantrieb, und zwar durch den Gleitwiderstand zwi-
schen dem Kolben und der Zylinderauskleidung des Motors.

Um den Kolbenantriebsverlust überhaupt senken zu können,
20 wird die Gleitfläche der Motorzylinderauskleidung durch
einen darauf ausgebildeten Ölfilm geschmiert. Damit auf
der Oberfläche ein stabiler Ölfilm entsteht, werden
vorzugsweise Grübchen ausgebildet, die als Ölspeicher
fungieren.

25 Auf dem Bauteil werden die Grübchen ausgebildet, indem
gleichzeitig mit dem Schneiden und Schleifen der Bauteil-
oberfläche eine Kreuzschraffur erzeugt wird oder indem
durch Strahlverfestigung Erhabenheiten und Höhlungen
30 geschaffen werden.

Die herkömmlichen Oberflächengrübchenbildungsverfahren
führen jedoch zu folgenden Schwierigkeiten. Und zwar

werden die Grübchen sowohl beim Erzeugen der Kreuz-
schraffur als auch beim Schaffen der Erhabenheiten und
Höhlungen durch Strahlverfestigung mit einer geringen
Tiefe ausgebildet. Außerdem führen die bei der Grübchen-
5 bildung ungezielt ausgebildeten Grübchen zu einer groben
Gesamtoberfläche. Dadurch verschlechtert sich das
Verhalten der Oberfläche als Gleitfläche. Außerdem lassen
sich die bei der Strahlverfestigung verwendeten feinen
Aluminiumoxidpulver kaum wiederverwenden.

10

Kurzdarstellung der Erfindung

Angesichts der obigen Umstände zielt die Erfindung darauf
ab, ein Verfahren zur Ausbildung von Oberflächengrübchen
15 und ein Bauteil mit Oberflächengrübchen zur Verfügung zu
stellen, die dem Stand der Technik überlegen sind.

Dazu umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zur
Ausbildung von Oberflächengrübchen einen Bauteilabstimm-
20 schritt zum Erzielen eines Bauteils, das einen aus
schwachen Abschnitten aufgebauten Oberflächenschicht-
abschnitt und einen hochfesten Abschnitt mit im
Verhältnis höherer Festigkeit als die schwachen
Abschnitte aufweist; und einen Aufspritzschritt zum
25 Aufspritzen von Hochdruckfluid, um zum Ausbilden von
Grübchen auf der Oberfläche des Bauteils zumindest einen
Teil der schwachen Abschnitte zu entfernen.

Mit anderen Worten erscheinen die schwachen Abschnitte am
30 Oberflächenschichtabschnitt des Bauteils, auf dem die
Oberflächengrübchen auszubilden sind. Dann wird das
Hochdruckfluid auf den Oberflächenschichtabschnitt
gespritzt, um die schwachen Abschnitte von dem Bauteil-
oberflächenschichtabschnitt zu entfernen. Die entfernten

03.05.02

- 3 -

DE 100 85 168 T1

Abschnitte auf den schwachen Abschnitten ergeben die Grübchen.

- Die durch das Hochdruckfluid leicht entfernbaren
- 5 schwachen Abschnitte werden von dem Bauteiloberflächen-
schichtabschnitt mit höherer Wahrscheinlichkeit als der
hochfeste Abschnitt entfernt. Bei der Kombination aus dem
geringsten Aufspritzzdruck und der kürzesten Aufspritz-
dauer des Hochdruckfluids, mit denen die schwachen
- 10 Abschnitte entfernt werden, wird der hochfeste Abschnitt
unter dem Gesichtspunkt, die Anzahl, Größe und Tiefe der
Oberflächengrübchen zu steuern, vorzugsweise nicht
entfernt. Abgesehen von den schwachen Abschnitten auf dem
Bauteiloberflächenschichtabschnitt behalten die anderen
- 15 Abschnitte ihren ursprünglichen Aufbau, bevor das
erfindungsgemäße Verfahren zum Ausbilden von Oberflächen-
grübchen zum Einsatz kam. Wenn daher an der Bauteilober-
fläche vor dem Aufspritzschritt eine Abflachungs-
behandlung oder dergleichen durchgeführt wird, die für
- 20 das Bauteil am Ende erforderlich ist, kann auch nach der
Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausbilden
der Oberflächengrübchen der Abflachungsgrad der Bauteil-
oberfläche aufrechterhalten werden.
- 25 Um die schwachen Abschnitte zu entfernen, muss die darauf
aufgebrachte Kraft die Verbindungskraft zwischen den
entsprechenden schwachen Abschnitten und dem hochfesten
Abschnitt überschreiten. Mit zunehmendem Aufspritzzdruck
des Hochdruckfluids nimmt die Anzahl der durch den
- 30 Aufspritzzdruck entfernten schwachen Abschnitte zu. Da die
Entfernung der schwachen Abschnitte der Wahrscheinlich-
keit nach mit zunehmender Aufspritzzeit des Hochdruck-
fluids weitergeht, nimmt die Wahrscheinlichkeit insgesamt
zu, dass die schwachen Abschnitte entfernt werden. Durch
- 35 Ändern des Aufspritzzdrucks und der Aufspritzzeit des

03.05.02

- 4 -

DE 100 85 168 T1

Hochdruckfluids können demnach die Anzahl, Größe und Tiefe der auf der Bauteiloberfläche auszubildenden Oberflächengrübchen gesteuert werden.

- 5 Der Aufspritzdruck und die Aufspritzdauer des Hochdruckfluids werden so gewählt, dass auf der Bauteiloberfläche als dem zu bearbeitenden Bauteil der hochfeste Abschnitt im Vergleich zu den schwachen Abschnitten kaum entfernt wird. Falls der hochfeste Abschnitt ähnlich wie
10 die schwachen Abschnitte entfernt wird, würde der Oberflächenschichtabschnitt des Bauteils gleichmäßig entfernt werden.

- Um die Anzahl der Oberflächengrübchen und die Größe und
15 Tiefe der Grübchen zu steuern, können verschiedene Arten an Hochdruckfluiden gewählt werden. Das Hochdruckfluid kann eine Flüssigkeit wie Wasser oder Öl oder ein Gemisch aus Flüssigkeit und feinen Pulvern wie Granatpulvern oder Glaskugeln sein, die das Entfernen der schwachen
20 Abschnitte verstärken. Das Hochdruckfluid kann auch aus feinen Teilchen bestehen, und je nach Beschaffenheit des Bauteils als dem zu bearbeitenden Bauteil kann ein Zusatzstoff wie ein Rostschutzmittel und dergleichen zu dem Hochdruckfluid hinzugegeben werden.

- 25 Anders als bei dem Verfahren zum Ausbilden der Oberflächengrübchen durch Strahlverfestigung und dergleichen lässt sich mit dem besprochenen Verfahren eine gewünschte Anzahl Grübchen mit gewünschter Form ausbilden und können
30 auf der Bauteiloberfläche gezielt lediglich die schwachen Abschnitte entfernt werden. Dadurch bleibt die Oberfläche an anderen Abschnitten als den Grübchen unbeeinflusst.

- Im Aufspritzschritt kann dadurch, dass auf vergleichbare
35 Weise zumindest ein Teil des hochfesten Abschnitts neben

03.05.02

- 5 -

DE 100 85 168 T1

den schwachen Abschnitten entfernt wird, verglichen mit dem Fall, dass lediglich die schwachen Abschnitte entfernt werden, die Größe und Tiefe der Grübchen erhöht werden.

5

Um von dem Bauteiloberflächenschichtabschnitt außer den schwachen Abschnitten auch den hochfesten Abschnitt neben den schwachen Abschnitten zu entfernen, kann der Aufspritzdruck des Hochdruckfluids erhöht werden oder
10 können feine Pulver in das Hochdruckfluid gemischt werden. Der hochfeste Abschnitt kann, damit er sich einfach entfernen lässt, von den schwachen Abschnitten umgeben sein. Außerdem lässt sich der hochfeste Abschnitt, wenn er aus kristallinem Material besteht,
15 leicht an der Kristallgrenzfläche ablösen.

Das Hochdruckfluid kann beim Aufspritzvorgang lediglich auf einen Teil des Oberflächenschichtabschnitts gespritzt werden.

20

Durch partielles Aufspritzen des Hochdruckfluids auf den Oberflächenschichtabschnitt lassen sich der Entstehungs-
ort, die Dichte und der Abstand der Grübchen und dergleichen steuern. Es lässt sich daher ein Bauteil mit
25 einer für den Einsatzzweck geeigneten Oberfläche erzielen.

Die schwachen Abschnitte können in Stückform, in Plattenform oder im Faserzustand vorliegen. Durch schwache
30 Abschnitte mit einem hohen Längenverhältnis lassen sich auf dem Bauteil tiefe Oberflächengrübchen bilden, ohne die Beschaffenheit der Bauteiloberfläche zu ändern.

Der Oberflächenschichtabschnitt besteht vorzugsweise aus
35 Gusseisen mit stückigem Graphit.

Gusseisen mit stückigem Graphit ist ein Material, das für die Gleitfläche einer Zylinderauskleidung oder dergleichen verwendet werden kann. Die auf einem Oberflächenabschnitt erscheinenden stückigen Graphitteilchen werden durch Aufspritzen des Hochdruckfluids als die schwachen Abschnitte entfernt, sodass die Grübchen entstehen. Es versteht sich von selbst, dass das Gusseisen mit stückigem Graphit nicht nur für das gesamte Bauteil, sondern auch lediglich für den Oberflächenschichtabschnitt verwendet werden kann. Die Dichte der stückigen Graphitteilchen lässt sich durch die Gießbedingungen und dergleichen steuern, so dass sich die erforderlichen Oberflächengrübchen ergeben. Die Ablagerung der stückigen Graphitteilchen wird dabei in dem Bauteilabstimmungsschritt gesteuert.

Der Oberflächenschichtabschnitt kann auch aus PMC-Aluminium (PMC: Pulvermetall-Verbundwerkstoff) bestehen, bei dem miteinander vermischte Aluminiumlegierungspulver und harte Teilchen geformt und gesintert werden. Die harten Teilchen können aus Keramikpulvern und/oder Silikonteilchen bestehen.

Daneben kann der Oberflächenschichtabschnitt auch aus MMC-Aluminium (MMC: Metallmatrix-Verbundwerkstoff) bestehen, bei dem Mullitteilchen und Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Faser in dem Aluminiumgrundmaterial dispergiert werden.

Der Bauteilabstimmungsschritt kann eine komplexe Flammbeschichtung oder eine komplexe Metallisierung sein. Wenn durch die komplexe Flammbeschichtung oder die komplexe Metallisierung ein Oberflächenschichtabschnitt mit mehr als zwei Materialien ausgebildet wird, können die

03.05.02

- 7 -

DE 100 85 168 T1

schwachen Abschnitte und der hochfeste Abschnitt frei
ausgebildet werden.

- 5 Darüber hinaus sind bei dem erfindungsgemäßen Bauteil mit
den Oberflächengrübchen, mit dem die obige Aufgabe gelöst
wird, die Grübchen dadurch gebildet, dass Teile des
Oberflächenschichtabschnitts durch Aufspritzen des
Hochdruckfluids entfernt wurden.
- 10 Das heißt, dass bei dem erfindungsgemäßen Bauteil gezielt
Teile des Oberflächenschichtabschnitts des Bauteils durch
das Aufspritzen des Hochdruckfluids entfernt wurden,
wobei der ursprüngliche Oberflächenaufbau der anderen
Abschnitte erhalten blieb.
- 15 Der mittlere Abstand zwischen den Grübchen ist vorzugs-
weise 20- bis 200-mal so groß wie die mittlere Tiefe der
Grübchen. Ein kleinerer mittlerer Abstand zwischen den
Grübchen würde die Oberflächenrauheit des Bauteils
20 erhöhen, sodass sich der Reibungskoeffizient plötzlich
erhöhen würde. Außerdem wäre die Wirkung der Grübchen als
Ölspeicher bei einem mittleren Abstand zwischen den
Grübchen, der größer als dieser Wert ist, relativ gering,
sodass es durch Ölmangel zu einer Abnutzung käme.
- 25 Der Oberflächenschichtabschnitt weist einen Abschnitt
auf, auf den das Hochdruckfluid gespritzt wurde, und
einen Abschnitt, auf den es nicht gespritzt wurde. Die
mittlere Länge des Abschnitts, auf den das Hochdruckfluid
30 nicht gespritzt wurde, ist vorzugsweise größer als die
des Abschnitts, auf den das Hochdruckfluid gespritzt
wurde, und kann 20- bis 200-mal so groß wie die mittlere
Grübchentiefe sein. Wenn die mittlere Länge des
Abschnitts, auf den das Hochdruckfluid nicht gespritzt
35 wurde, kleiner als die des Abschnitts ist, auf den das

Hochdruckfluid gespritzt wurde, wäre der Einfluss des Abstands zwischen den Grübchen in dem Abschnitt, auf den das Hochdruckfluid gespritzt wurde, im Verhältnis höher. Wenn die mittlere Länge des Abschnitts, auf den das
5 Hochdruckfluid nicht gespritzt wurde, im Mittel kleiner als der 20- bis 200-fache Wert der Grübchentiefe ist, würde die Oberflächenrauheit des Bauteils zunehmen, sodass sich der Reibungskoeffizient plötzlich erhöhen würde. Im Gegensatz dazu wäre die Wirkung der Grübchen
10 als Ölspeicher relativ gering, sodass es durch Ölmangel zu einer Abnutzung käme, wenn die mittlere Länge des Abschnitts, auf den das Hochdruckfluid nicht gespritzt wurde, größer als die mittlere Grübchentiefe ist.

15 Das Bauteil mit den Oberflächengrübchen besteht vorzugsweise aus Gusseisen mit stückigem Graphit, wobei die Grübchen vorzugsweise durch das Entfernen von Graphitteilchen gebildet wurden. Der Grund dafür ist der, dass sich die Grübchen in dem Gusseisen mit stückigem Graphit
20 leicht steuern lassen.

Die Oberfläche des Grübchen aufweisenden Bauteils ist vorzugsweise flach. Eine flache Oberfläche ist für ein Bauteil, das als Gleitbauteil verwendet wird, günstig.

25 Die Oberfläche des Grübchen aufweisenden Bauteils kann die Oberfläche einer Zylinderbohrung oder einer Zylinderauskleidung eines Motors, die Oberfläche einer Zylinderbohrung oder einer Zylinderauskleidung eines Kompressors
30 oder die Oberfläche einer Taumelscheibe oder eines Schuhs eines Taumelscheibenkompressors mit veränderbarem Volumen sein. Abgesehen davon kann das erfindungsgemäße Bauteil mit den Oberflächengrübchen für ein Bauteil eingesetzt werden, das eine Gleitfläche aufweist.

35

03.05.02
DE 100 85 168 T1

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

- 5 Fig. 1 ein Beispiel einer Bauteiloberfläche, die durch einen Bauteilabstimmschritt der besprochenen Ausführungsart eingestellt wurde;

- Fig. 2 ein weiteres Beispiel einer Bauteiloberfläche, die
10 durch einen Bauteilabstimmschritt der besprochenen Ausführungsart eingestellt wurde;

- die Figuren 3 die Querschnittsänderung des in Fig. 1
gezeigten Bauteils bei fortschreitendem Aufspritzschritt;
15

Fig. 4 ein Aufspritzgerät, mit dem bei bestimmten Ausführungsbeispielen eine Hochdruckwasseraufspritzung erfolgte;

- 20 Fig. 5 einen Zusammenhang zwischen dem Aufspritzdruck und dem Oberflächenölanteil bei Ausführungsbeispiel 1;

- Fig. 6 den Zusammenhang zwischen Rvk und dem Oberflächenölanteil bei Ausführungsbeispiel 2;
25

Fig. 7 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Ausführungsbeispiel 2;

- Fig. 8 einen Zusammenhang zwischen Rk und Rvk bei
30 Ausführungsbeispiel 2;

Fig. 9 Mikroskopbilder der Oberfläche eines Probekörpers bei Ausführungsbeispiel 2;

Fig. 10 einen Zusammenhang zwischen Rvk und der Beständigkeit des Oberflächenreibungskoeffizienten bei Ausführungsbeispiel 4;

- 5 Fig. 11 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Ausführungsbeispiel 5;

Fig. 12 eine durch ein Mikroskop betrachtete Oberfläche eines Probekörpers bei Ausführungsbeispiel 5;

10

Fig. 13 einen Querschnittsverlauf der Oberfläche eines durch ein Mikroskop betrachteten Probekörpers;

- 15 Fig. 14 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Ausführungsbeispiel 7;

Fig. 15 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Ausführungsbeispiel 8;

- 20 Fig. 16 eine schematische Darstellung einer in den Ausführungsbeispielen 9 und 10 verwendeten Hochdruckwasseraufspritzdüse;

- 25 Fig. 17 die Oberfläche eines durch ein Mikroskop betrachteten Probekörpers;

Fig. 18 eine vergrößerte Darstellung von Fig. 17;

- 30 Fig. 19 Beispiele für Oberflächengrübchen (lineare Höhlung) auf dem zu bearbeitenden Bauteil;

Fig. 20 die Oberfläche eines durch ein Mikroskop betrachteten Probekörpers bei Ausführungsbeispiel 10 vor der Behandlung;

35

03.05.02
DE 100 85 168 T1

Fig. 21 die Oberfläche eines durch ein Mikroskop betrachteten Probekörpers bei Ausführungsbeispiel 10 nach der Behandlung;

- 5 Fig. 22 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Ausführungsbeispiel 11;

- Fig. 23 einen Zusammenhang zwischen dem Grübchenabstand und dem Reibungskoeffizienten bei den Ausführungs-
10 beispielen 5 bis 11 und bei Vergleichsbeispielen 3 bis 6;

Fig. 24 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Vergleichsbeispiel 3;

- 15 Fig. 25 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Vergleichsbeispiel 4;

Fig. 26 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Vergleichsbeispiel 5;

- 20 Fig. 27 ein Beispiel eines Querschnittsverlaufs bei Vergleichsbeispiel 6; und

- Fig. 28 einen Zusammenhang zwischen dem Reibungs-
25 koeffizienten und der Zeitdauer bis zum Auftreten einer Abnutzung für Probekörper der Ausführungsbeispiele 5 bis 11 und der Vergleichsbeispiele 3 bis 6.

30 Beste Ausführungsart für die Erfindung

<Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen>

- Im Folgenden wird ausführlich erläutert, wie das erfindungsgemäße Verfahren zum Ausbilden von Oberflächen-
35 grübchen ausgeführt werden kann. Es wird darauf

03.08.02

-12-

DE 100 85 168 T1

hingewiesen, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsarten eingeschränkt ist. Außerdem ist zu beachten, dass die beigefügten Zeichnungen schematische Darstellungen sind, nicht aber die genaue Abmessung oder
5 Form wiedergeben.

Die besprochene Ausführungsart hat ein Verfahren zum Gegenstand, mit dem auf einer Zylinderauskleidung in einem Kraftfahrzeugmotor, die eine Kolbengleitfläche
10 aufweist, Oberflächengrübchen ausgebildet werden. Dieses Verfahren kann bei einem Bauteil Anwendung finden, das eine Gleitfläche für zwei gegeneinander geleitende Bauteile aufweist. Ein solches Bauteil kann beispielsweise eine Zylinderbohrung, eine Zylinderauskleidung oder
15 eine Zylinderbohrung für einen Motor, der nicht zu einem Kraftfahrzeug gehört, eine Zylinderbohrung oder eine Zylinderauskleidung eines Kompressors oder auch eine Taumelscheibe oder ein Schuh eines Taumelscheibenkompressors mit variablem Volumen sein. Das Verfahren
20 kann bei einem Bauteil Anwendung finden, auf dessen Oberfläche stets ein Schmierstoff vorhanden sein muss. Das Material des Bauteils ist nicht beschränkt, kann aber ein Metallwerkstoff, etwa auf Eisenbasis, oder ein Harz sein.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen umfasst einen Bauteilabstimmschritt zum Erzielen eines Bauteils, das einen Oberflächenschichtabschnitt aufweist, der aus zwar schwachen, aber massiven
30 Abschnitten und einem hochfesten Abschnitt mit einer im Verhältnis höheren Festigkeit als die schwachen Abschnitte aufgebaut ist; und nach dem Bauteilabstimmschritt einen Aufspritzschritt zum Aufspritzen von Hochdruckfluid, um unter Ausbildung von Grübchen auf der

Oberfläche des Bauteils einen Teil der schwachen Abschnitte zu entfernen.

Und zwar werden die Grübchen auf der Oberfläche
5 ausgebildet, indem durch das Aufspritzen des
Hochdruckfluids die schwachen Abschnitte des Bauteils
entfernt werden.

Durch den Bauteilabstimmschritt kommt zu dem Bauteil der
10 Oberflächenschichtabschnitt hinzu. Der Oberflächen-
schichtabschnitt setzt sich aus den schwachen Abschnitten
und dem hochfesten Abschnitt mit der im Verhältnis zu den
schwachen Abschnitten höheren Festigkeit zusammen.

15 Die Dicke des Oberflächenschichtabschnitts unterliegt
keinen Beschränkungen, jedoch ist es vorzuziehen, dass
der Wert hoch genug ist, um die für die Grübchen
benötigte Tiefe zu gewährleisten. Der Oberflächenschicht-
abschnitt muss nicht notwendigerweise auf der gesamten
20 Oberfläche des Elements vorgesehen sein, sondern es
reicht aus, wenn er zumindest an der Fläche vorgesehen
wird, wo die Grübchen auszubilden sind.

Das Material und die Form der schwachen Abschnitte und
25 des hochfesten Abschnitts unterliegen keinen
Beschränkungen. Beim Aufspritzen des Hochdruckfluids
sollten sich die schwachen Abschnitte jedoch verglichen
mit dem hochfesten Abschnitte leicht entfernen lassen.

30 Die schwachen Abschnitte können sich beispielsweise aus
einem Material zusammensetzen, das brüchiger oder weicher
als der hochfeste Abschnitt ist. Die schwachen Abschnitte
und der hochfeste Abschnitt können in einem anderen Fall
auch eine Insel-Matrix-Anordnung aufweisen, sodass sich
35 die schwachen Abschnitte als Inseln leicht von den

03.05.02

-14-

DE 100 85 168 T1

durchgängigen hochfesten Abschnitt als Matrix entfernen lassen. Selbst dann wenn die Inselabschnitte aus einem Stoff mit höherer physikalischer Festigkeit und der durchgängige Matrixabschnitt aus einem Stoff mit
5 geringer Festigkeit aufgebaut sind, lassen sich die Inselabschnitte leicht entfernen, wenn die Verbindung zwischen dem Matrixabschnitt und den Inselabschnitten schwächer als die Festigkeit der Matrixabschnitte ist. In diesem Fall bilden die Inselabschnitte mit hoher
10 physikalischer Festigkeit die schwachen Abschnitte und der Matrixabschnitt den hochfesten Abschnitt. Wenn der durchgängige Matrixabschnitt dagegen eine weit geringere Festigkeit als die Inselabschnitte aufweist, dient der Matrixabschnitt als die schwachen Abschnitte und bleiben
15 die Inselabschnitte als der Oberflächenschichtabschnitt des Bauteils zurück, der als der hochfeste Abschnitt dient. Der hochfeste Abschnitt umfasst bei dieser Ausführungsart daher den Abschnitt, der nicht durch die Hochdruckfluidbehandlung entfernt wurde, sondern auf dem
20 Oberflächenschichtabschnitt als Bestandteil des Bauteils zurückblieb.

Die individuelle Form der schwachen Abschnitte unterliegt keinen Beschränkungen. Diese können zum Beispiel wie in
25 Fig. 1 oder Fig. 3a gezeigt in Stückform, in Plattenform oder im Faserzustand vorliegen oder können wie in Fig. 2 gezeigt eine Würfel- oder Teilchenform haben. Unter diesen Formen ist für die schwachen Abschnitte 1 die Stückform, die Plattenform und der Faserzustand
30 vorzuziehen, da diese ein hohes Längenverhältnis aufweisen. Durch das Entfernen derart geformter schwacher Abschnitte 1 können unter nur geringer Veränderung des Oberflächenaufbaus des Bauteils tiefe Oberflächengrübchen gebildet werden. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, umgeben die
35 schwachen Abschnitte 1 vorzugsweise einen Teil des

03.05.02

-15-

DE 100 85 168 T1

hochfesten Abschnitts 2, um in einem Teil des hochfesten
Abschnitts 2 einen isolierten Abschnitt 21 auszubilden.
Dieser isolierte Abschnitt 21 lässt sich leicht
entfernen, wenn die umgebenden schwachen Abschnitte 1
5 durch Aufspritzen des Hochdruckfluids entfernt werden, um
dadurch wie nachstehend beschrieben größere Grübchen zu
bilden. Um einen solchen isolierten Abschnitt 21 zu
bilden, können auf dem Oberflächenschichtabschnitt
mehrere schwache Abschnitte 1 gebildet werden, um die
10 Wahrscheinlichkeit für das Entstehen des isolierten
Abschnitts zu erhöhen, oder werden benachbarte schwache
Abschnitte 1 beim Ausbilden des Oberflächenschicht-
abschnitts durch Wechselwirkung zwischen den schwachen
Abschnitten 1 enger aneinander gebracht. Wenn darüber
15 hinaus Pulver gleicher Beschaffenheit verteilt und durch
Sintern und dergleichen verbunden werden, sodass sich an
dem Grenzflächenabschnitt eine relativ geringe Festigkeit
ergibt (schwache Abschnitte), lassen sich die schwachen
Abschnitte kaum allein entfernen. Durch die Hochdruck-
20 fluidbehandlung kann nur der von den schwachen
Abschnitten umgebene isolierte Abschnitt entfernt werden.

Die Anzahl und Größe der schwachen Abschnitte 1 wird
entsprechend der Anzahl, Größe und Tiefe der am Ende auf
25 dem Bauteiloberflächenschichtabschnitt auszubildenden
Grübchen bestimmt. Vorausgesetzt, dass der nachstehend
erläuterte Aufspritzschritt der gleiche bleibt, wird zum
Beispiel ein Bauteil mit einer größeren Gesamtanzahl an
schwachen Abschnitten eine größere Anzahl an Grübchen als
30 ein Bauteil mit einer geringeren Gesamtanzahl an
schwachen Abschnitten bilden.

Ein Bauteil mit größeren schwachen Abschnitten wird
insgesamt mehr und tiefere Grübchen als ein Bauteil mit
35 kleineren schwachen Abschnitten 1 bilden.

03.05.02

-16-

DE 100 85 168 T1

Zum Ausbilden der schwachen Abschnitte 1 und des
hochfesten Abschnitts 2 kann für das Bauteil Gusseisen
mit stückigem Graphit verwendet werden. In dem Gusseisen
5 mit stückigem Graphit erscheinen die stückigen Graphit-
teilchen an dem Oberflächenschichtabschnitt und füllt
normales Eisengrundmetall wie Perlit die Lücken als
hochfester Abschnitt 2 auf. Das aus Gusseisen mit
stückigem Graphit bestehende Bauteil lässt sich durch
10 herkömmliche Gießverfahren abstimmen.

Andere Verfahren, mit denen sich der Oberflächenschicht-
abschnitt mit den schwachen Abschnitten 1 und dem
hochfesten Abschnitt 2 ausbilden lässt, können komplexes
15 Flamspritzen oder komplexes Metallisieren sein. Und zwar
kann der Oberflächenschichtabschnitt durch thermisches
Spritzen oder Aufmetallisieren von Materialien gebildet
werden, die zusammen mit dem Material, das den hochfesten
Abschnitt 2 bildet, die schwachen Abschnitte 1 bildet. So
20 können beispielsweise Eisen, Nickel oder Kupfer als
hochfester Abschnitt 2 und ein Harz wie Polyester oder
Graphit als schwache Abschnitte 1 verwendet werden, um
den Oberflächenschichtabschnitt auszubilden. Bei der
Ausbildung der Zylinderauskleidung werden die schwachen
25 Abschnitte 1 durch Einmischen eines die schwachen
Abschnitte 1 bildenden Materials in ein geschmolzenes
Material gleichzeitig mit dem erstarrenden Material auf
dem Oberflächenschichtabschnitt ausgebildet. Zur
Ausbildung des Oberflächenschichtabschnitts mit den
30 schwachen Abschnitten 1 und dem hochfesten Abschnitt 2
werden Metallpulver und Keramikpulver gemischt und
gesintert oder Metallpulver und Keramikpulver gemischt
und erwärmt, um den Metallanteil zum Einbau aufzulösen.
Der Oberflächenschichtabschnitt kann beispielsweise PMC-
35 Aluminium, bei dem Aluminiumlegierungspulver, Keramik-

03.05.02

-17-

DE 100 85 168 T1

pulver und Siliziumteilchen gemischt und gesintert wurden, oder MMC-Aluminium sein, bei dem Mullitteilchen und Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Fasern in einem Aluminiumgrundmaterial dispergiert wurden.

5

Gleichzeitig mit dem Bauteilabstimmsschritt oder zwischen dem Bauteilabstimmsschritt und dem Aufspritzschritt kann ein Schritt zum Abflachen des Oberflächenschichtabschnitts vorgesehen werden. Der Oberflächenabflachsritt flacht die Oberfläche beim Schleifen oder 10 Ausbilden des Oberflächenschichtabschnitts ab. Bei dem nachstehend zu erläuternden Aufspritzschritt, bei dem abgesehen von den schwachen Abschnitten 1 die anderen Abschnitte des Oberflächenschichtabschnitts durch das 15 Aufspritzen des Hochdruckfluids nicht beeinflusst werden, kann der Flachheitsgrad selbst dann aufrechterhalten werden, wenn der Oberflächenabflachsritt vor dem Aufspritzschritt durchgeführt wurde. Wenn der Oberflächenabflachsritt nach dem Aufspritzschritt 20 durchgeführt wird, bei dem die Grübchen ausgebildet werden, werden die Kanten der Grübchen und die ausgebildete Oberfläche entfernt, sodass die Flachheit abnehmen und das zum Schleifen verwendete Schleifmaterial in die Grübchen eindringen kann. Doch auch dann, wenn der 25 Oberflächenabflachsritt nach dem Aufspritzschritt durchgeführt wird, haben die durch das Verfahren dieser Ausführungsform ausgebildeten Grübchen genügend Tiefe, sodass sie nicht ohne Weiteres durch das Schleifen entfernt werden.

30

In dem Aufspritzschritt wird zum Ausbilden der Grübchen das Hochdruckfluid aufgespritzt, um zumindest einen Teil der schwachen Abschnitte 1 zu entfernen.

03.05.02

-18-

DE 100 85 168 T1

Abgesehen von den schwachen Abschnitten 1 kann in dem Aufspritzschritt auch der hochfeste Abschnitt 2 entfernt werden, solange nicht der gesamte Oberflächenabschnitt des Bauteiloberflächenschichtabschnitts entfernt wird.

5

Das Hochdruckfluid wird auf den Abschnitt des Bauteils gespritzt, auf dem die Grübchen auszubilden sind, und zwar beispielsweise auf nur einen Teil des Oberflächen-schichtabschnitts. Das Hochdruckfluid kann auf einmal auf
10 das gesamte Bauteil gespritzt werden oder wiederholt auf lokale Bereiche.

Bei der besprochenen Ausführungsart erfolgt der Aufspritzschritt an der Innenseite einer zylinderförmigen
15 Zylinderauskleidung. Dazu wird eine Düse für Hochdruck-fluid an einen sich drehenden Düsenkörper gesetzt, sodass sich in Bezug auf die Drehachse ein vorbestimmter Winkel ergibt, und der Düsenkörper bei gleichzeitiger Drehung entlang der Drehachse bewegt. Die Düse für das Hochdruck-
20 fluid wird in Bezug auf die Drehachse vorzugsweise achsensymmetrisch eingestellt, sodass die Drehachse nicht durch das Aufspritzen des Hochdruckfluids vibriert. Wenn der Aufspritzschritt bei einem nicht zylinderförmigen Bauteil Anwendung findet, wird das Hochdruckfluid
25 vorzugsweise durch ein Hochdruckfluidaufspritzgerät aufgespritzt, mit dem die Grübchen auf der Oberfläche ausgebildet werden können, ohne dass es zu einer Ungleichmäßigkeit entlang der Gestalt der Oberflächen kommt, auf der die Oberflächengrübchen auszubilden sind.

30

Der Aufspritzdruck des Hochdruckfluids ändert sich in Abhängigkeit von dem Material des Bauteils, wobei sowohl das Material der schwachen Abschnitte 1 als auch das Material des hochfesten Abschnitts 2 den Bauteilober-
35 flächenschichtabschnitt bildeten.

03.05.00

-19-

DE 100 85 168 T1

Um die schwachen Abschnitte 1 zu entfernen, wird eine Kraft benötigt, die jeweils die Verbindungsfestigkeit zwischen den schwachen Abschnitten 1 und dem hochfesten Abschnitt 2 überschreitet. Demnach muss der Aufspritzdruck des Hochdruckfluids die Verbindungskraft zwischen den schwachen Abschnitten 1 und dem hochfesten Abschnitt 2 überwinden können. Der Aufspritzdruck muss nicht so hoch sein, dass sämtliche auf dem Oberflächenschichtabschnitt erscheinenden schwachen Abschnitte 1 entfernt werden, sondern es reicht, wenn der Druck zumindest einen Teil der schwachen Abschnitte 1 entfernen kann. Wenn der Aufspritzdruck dagegen höher als der zum Entfernen der schwachen Abschnitte 1 erforderliche Druck ist, wird außer den schwachen Abschnitten 1 auch der hochfeste Abschnitt 2 neben den schwachen Abschnitten 1 entfernt. Durch das zusätzliche Entfernen des hochfesten Abschnitts 2 können auf dem Bauteiloberflächenschichtabschnitt größere Oberflächengrübchen ausgebildet werden.

Wenn die Grübchen beispielsweise auf einem Bauteil aus Gusseisen mit stückigem Graphit ausgebildet werden, beginnen sich die schwachen Abschnitte 1 (stückiges Graphit) auf dem Bauteiloberflächenschichtabschnitt bei einem Druck von 170 MPa abzulösen. Bei einem Druck von 240 MPa beginnt sich auch der hochfeste Abschnitt 2 neben den schwachen Abschnitten 1 abzulösen.

Da bei dem Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen gemäß dieser Ausführungsart das Entfernen der auf dem Oberflächenschichtabschnitt erscheinenden schwachen Abschnitte 1 durch das Hochdruckfluid in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit voranschreitet, nimmt die Gesamtanzahl an ausgebildeten Grübchen mit zunehmender Aufspritzdauer des Hochdruckfluids zu.

03.05.00

-20-

DE 100 85 168 T1

Die Anzahl und Größe der auf dem Bauteil ausgebildeten
Oberflächengrübchen kann durch eine Änderung des
Aufspritzdrucks und der Aufspritzdauer des Hochdruck-
5 fluids gesteuert werden. Angenommen, dass Bauteile mit
gleichem Oberflächenschichtabschnitt verwendet werden,
kann, wenn beispielsweise der Aufspritzdruck bei konstant
bleibender Aufspritzdauer geändert wird, ein Druckfluid
mit höherem Aufspritzdruck mehr schwache Abschnitte 1 und
10 benachbarte hochfeste Abschnitte 2 entfernen. Dadurch
lassen sich größere, tiefere und mehr Grübchen bilden.
Wenn andererseits bei konstant bleibendem Aufspritzdruck
die Aufspritzdauer geändert wird, ändert sich die Größe
und die Tiefe der gebildeten Grübchen nicht allzu stark,
15 da der gleiche Aufspritzdruck im Wesentlichen im gleichen
Umfang schwache Abschnitte 1 und hochfeste Abschnitte 2
entfernt. Mit zunehmender Aufspritzdauer nimmt jedoch die
Gesamtanzahl der letztlich auf dem Bauteil ausgebildeten
Grübchen zu.

20

Wenn eine große Anzahl kleiner und flacher Grübchen auf
dem Bauteiloberflächenschichtabschnitt ausgebildet werden
soll, wird die Aufspritzdauer ausreichend länger
eingestellt, während der Aufspritzdruck vergleichsweise
25 niedrig eingestellt wird. Wenn auf dem Bauteil-
oberflächenschichtabschnitt eine kleine Zahl großer und
tiefer Grübchen ausgebildet werden soll, wird die
Aufspritzdauer ausreichend kürzer eingestellt, während
der Aufspritzdruck erhöht wird.

30

Wenn das Hochdruckfluid beispielsweise auf das in Fig. 1
gezeigte Bauteil gespritzt wird, werden die schwachen
Abschnitte 1 in dem in Fig. 3(a) gezeigten Oberflächen-
schichtabschnitt wie in Fig. 3(b) gezeigt entfernt,
35 sodass sich die Grübchen 11 ergeben. Wenn in diesem Fall

- der Aufspritzdruck höher eingestellt wird oder die Aufspritzdauer verlängert wird, lassen sich sämtliche schwachen Abschnitte 1 wie in Fig. 3(c) gezeigt entfernen. Mit zunehmendem Aufspritzdruck des
- 5 Hochdruckfluids werden in der Umgebung des von den schwachen Abschnitten 1 umgebenen isolierten Abschnitts 21 wie in Fig. 3(d) gezeigt die großen Grübchen 11 ausgebildet. Es werden also die isolierten Abschnitte 21 entfernt, sodass sich schließlich die Grübchen 11 bilden.
- 10 Der Mindestwert des Aufspritzdrucks, der zum Entfernen des hochfesten Abschnitts 2 neben den schwachen Abschnitten 1 benötigt wird, ist im Allgemeinen kleiner als der zum Entfernen der schwachen Abschnitte 1
- 15 benötigte Höchstwert des Aufspritzdrucks. Damit die Grübchen 11 in der benötigten Anzahl, Größe und Tiefe gebildet werden, müssen der Aufspritzdruck und die Aufspritzdauer des Hochdruckfluids aus diesem Grund geeignet gesteuert werden.
- 20 Ein Hochdruckfluid mit einem Aufspritzdruck, der die isolierten Abschnitte nicht entfernt, wirkt lediglich auf die Umgebung der etwa aus Graphit bestehenden schwachen Abschnitte 1, was nützlich sein kann, um um die schwachen
- 25 Abschnitte herum einen Grat zu entfernen.
- Die Substanz für das Hochdruckfluid kann mit Blick auf die Anzahl, Größe und Tiefe der auszubildenden Oberflächengrübchen 11 gewählt werden. Das Hochdruckfluid
- 30 kann eine Flüssigkeit wie Wasser oder Öl oder ein Gemisch sein, in dem feine Pulver wie Granatpulver oder Glaskugeln in die Flüssigkeit gemischt sind. Das Hochdruckfluid kann auch aus feinen Pulverteilchen bestehen. Außerdem kann abhängig von der Beschaffenheit

des Bauteils als dem zu bearbeitenden Bauteil ein Zusatzstoff wie ein Rostschutzmittel hinzugemischt werden.

Das Hochdruckfluid ist nicht unbedingt eine Substanz, die
5 bei Normaltemperatur flüssig ist, sondern kann auch ein
Flüssiggas wie flüssige Kohlensäure oder flüssiger
Stickstoff sein. Ein solches Flüssiggas mit allgemein
niedriger Temperatur kühlt das Bauteil beim Aufspritzen
des Hochdruckfluids, wodurch es spröde wird. Dadurch
10 lässt sich die Effizienz steigern, mit der die Grübchen
gebildet werden.

Verflüssigte Kohlensäure, die unter hohem Druck in die
unter normalen Druck befindliche Außenluft abgegeben
15 wird, erzeugt feines Pulver aus erstarrter Kohlensäure.
Das feine Pulver aus erstarrter Kohlensäure trifft auf
die schwachen Abschnitte 1 des Bauteiloberflächenschicht-
abschnitts und entwickelt ein starkes Entferungsvermögen
für die schwachen Abschnitte 1. Durch Gemischbildung und
20 Diffusion der auf die schwachen Abschnitte 1 treffenden
erstarrten Kohlensäure von der Bauteiloberfläche aus
entfällt die Notwendigkeit einer Nachbehandlung. Dieser
Vorteil lässt sich auch mit anderen Flüssiggasen
erzielen.

25
<Bauteil mit Oberflächengrübchen>

Im Folgenden werden ausführlich mehrere Ausführungsarten
für das Bauteil mit den Oberflächengrübchen erläutert.
30 Allerdings wird darauf hingewiesen, dass die Erfindung
nicht auf diese Ausführungsarten eingeschränkt ist.

Dass die Oberflächengrübchen aufweisende Bauteil der
besprochenen Ausführungsart wird ähnlich wie bei dem
35 vorstehenden Verfahren am Beispiel der Zylinder-

auskleidung eines Kraftfahrzeugmotors beschrieben. Ein
anderes Bauteil mit Oberflächengrübchen, bei dem die
Erfindung Anwendung finden kann, kann ein Bauteil sein,
dass zwischen Bauteilen eine Gleitfläche bildet. Dabei
5 kann es sich um die Oberfläche einer Zylinderbohrung, um
eine Zylinderauskleidung und eine Zylinderbohrung eines
Motors, der nicht zu einem Kraftfahrzeug gehört, um eine
Zylinderbohrung und eine Zylinderauskleidung eines
Kompressors oder um eine Taumelscheibe oder einen Schuh
10 eines Taumelscheibenkompressors mit variablem Volumen
handeln. Des Weiteren kann es sich um ein Bauteil
handeln, das auf seiner Oberfläche stets einen Schmier-
stoff halten muss. Das Material für das Bauteil mit den
Oberflächengrübchen unterliegt keinen Beschränkungen, es
15 kann jedoch ein Metallmaterial wie ein Material auf
Eisenbasis oder ein Harz umfassen. Wenn das Bauteil mit
den Oberflächengrübchen gemäß dieser Ausführungsart eine
solche Gleitfläche aufweist, kann dadurch, dass in den
Grübchen ein Schmierstoff zurückgehalten wird, das
20 Ölhaltevermögen auf der Gleitfläche erhöht werden, sodass
ein Anbacken der Gleitfläche verhindert wird.

Bei dem Bauteil mit den Oberflächengrübchen dieser
Ausführungsart werden die Grübchen von Teilen des Ober-
25 flächenschichtabschnitts gebildet, die durch Aufspritzen
des Hochdruckfluids entfernt wurden.

Bei dem Bauteil mit Oberflächengrübchen dieser
Ausführungsart, bei dem der von dem Oberflächenschicht-
30 abschnitt entfernte Teil gezielt durch Aufspritzen des
Hochdruckfluids entfernt wurde, sind die Grübchen an der
Oberfläche ausgebildet, während der andere Teil den
ursprünglichen Oberflächenaufbau beibehalten hat. Die auf
dem Oberflächenschichtabschnitt ausgebildeten Grübchen

können soweit ausgebildet sein, dass nicht der gesamte
Oberflächenschichtabschnitt entfernt ist.

- Das solche Oberflächengrübchen aufweisende Bauteil lässt
5 sich erzielen, indem das vorstehend angesprochene
Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen bei einem
Bauteil Anwendung findet, bei dem die Oberflächengrübchen
auszubilden sind.
- 10 Der mittlere Abstand zwischen den Grübchen ist vorzugs-
weise zwischen 20- bis 200-mal und insbesondere 100- bis
200-mal so groß wie die mittlere Grübchentiefe. Wenn der
mittlere Abstand zwischen den Grübchen kleiner ist, würde
die Oberflächenrauheit der Bauteiloberfläche zunehmen,
15 sodass sich der Reibungskoeffizient plötzlich erhöhen
würde. Wenn der mittlere Abstand zwischen den Grübchen
dagegen größer als dieser Grübchenwert ist, würde die
Wirkung der Grübchen als Ölspeicher im Vergleich
abnehmen, sodass es durch Ölmangel zu einer Abnutzung
20 kommen könnte. Um den mittleren Abstand zwischen den
Grübchen zu ermitteln, wird über eine Messstrecke von
20 mm der Rauheitsverlauf gemessen, um aus diesen Daten
den mittleren Abstand der Grübchen zu berechnen. Bei
dieser Berechnung werden als Tiefe für die Grübchen nur
25 Tiefen mit mehr als 30% des Rz-Rauheitswerts verwendet.
(Bei einem Rauheitswert von 10 μm Rz werden für die
Berechnung beispielsweise lediglich die Grübchen mit
einer Tiefe von mehr als 3 μm verwendet). Der mittlere
Abstand zwischen den Grübchen kann geändert werden, indem
30 die Dichte der durch die Hochdruckfluidbehandlung zu
entfernenden Abschnitte (schwachen Abschnitte)
eingestellt wird.

- Durch partielles Aufspritzen des Hochdruckfluids können
35 die mit dem Hochdruckfluid behandelten Abschnitte

03.05.00

-25-

DE 100 85 168 T1

(Abschnitte mit darin ausgebildeten Grübchen) im Wechsel erzeugt werden. Zum partiellen Aufspritzen des Hochdruckfluids kann die zu behandelnde Fläche des Oberflächenschichtabschnitts mit einem Abdeckelement
5 abgedeckt werden oder wird das Hochdruckfluid zur kleinflächigen Behandlung reduziert. In diesem Fall ist die mittlere Länge des nicht der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts vorzugsweise größer als die mittlere Länge des der Hochdruckfluidaufspritzung unter-
10 zogenen Abschnitts und vorzugsweise 20- bis 200-mal so groß wie die mittlere Grübchenlänge. Ein Wert von 100- bis 200-mal der mittleren Grübchentiefe ist noch mehr vorzuziehen. Wenn die mittlere Länge des nicht der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts
15 kleiner als die des der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts ist, wäre der Einfluss des Abstands zwischen den Grübchen in dem Abschnitt, der dem Aufspritzen des Hochdruckfluids unterzogen wurde, im Vergleich größer. Wenn die mittlere Länge des der
20 Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts kleiner als der 20- bis 200-fache mittlere Wert der Grübchentiefe ist, würde die Oberflächenrauheit der Bauteiloberfläche zunehmen, sodass der Reibungs-
koeffizient plötzlich ansteigen würde.

25 Wenn er dagegen größer als die mittlere Grübchentiefe wäre, wäre die Wirkung der Grübchen als Ölspeicher verhältnismäßig gering, sodass es durch Ölmangel zu einer Abnutzung kommen könnte. Um die mittlere Länge des nicht
30 der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts zu ermitteln, wird in der Gleitrichtung, in der das die Grübchen aufweisende Bauteil dieser Ausführungsart gleitet, über eine Messstrecke von 20 mm der Rauheits-
verlauf gemessen, um anhand dieser Daten die mittlere
35 Strecke des Abschnitts zu berechnen, in dem die Grübchen

nicht ausgebildet sind. Um die mittlere Länge des der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts zu ermitteln, wird die Rauheitskurve über eine Messstrecke von 20 mm gemessen, um aus den Daten die mittlere Strecke
5 zwischen den Grübchen zu berechnen. Als Grübchentiefe wird dabei eine Tiefe von mehr als 30% des Rz-Rauheitswerts verwendet.

Das Bauteil mit den Oberflächengrübchen besteht vorzugs-
10 weise aus Gusseisen mit stückigem Graphit, wobei die Grübchen vorzugsweise von den entfernten Graphitteilchen gebildet werden. Der Grund dafür ist der, dass sich die Grübchen des Gusseisens mit stückigem Graphit leicht steuern lassen. Außer in dem Abschnitt, in dem die
15 Graphitteilchen entfernt wurden, können die Grübchen auch in einem Abschnitt vorliegen, in dem Matrixabschnitte wie das die Lücken der Graphitteilchen füllende Perlit entfernt wurden.

20 Das Bauteil mit den Oberflächengrübchen kann aus PMC-Aluminium, bei dem Aluminiumlegierungspulver, Keramikpulver und Silikonteilchen gemischt und gesintert wurden, oder aus MMC-Aluminium bestehen, bei dem Mullitteilchen und Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Fasern in einem Aluminium-
25 grundmaterial dispergiert wurden. PMC-Aluminium und MMC-Aluminium haben hervorragende mechanische Eigenschaften, etwa in bezug auf die Festigkeit. Auch lässt sich leicht das tatsächliche Verhältnis an schwachen Abschnitten und hochfesten Abschnitten steuern, indem das Mischungs-
30 verhältnis der Materialzusammensetzung (Aluminiumlegierungspulver, Keramikpulver und Silikonteilchen für das PMC-Aluminium; Aluminiumgrundmaterial, Mullitteilchen, Aluminium-Siliziumoxidteilchen für das MMC-Aluminium) geändert wird.

- Die die Grübchen aufweisende Oberfläche des Bauteils ist vorzugsweise flach, da eine flache Oberfläche vorzuziehen ist, wenn das Bauteil als Gleitbauteil verwendet wird. Verglichen mit dem Oberflächenabschnitt haben die Ober-
- 5 flächengrübchen vorzugsweise eine kleine Fläche und eine große Tiefe.

(Ausführungsbeispiele)

- 10 Im Folgenden wird die Erfindung genauer anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben.

(Ausführungsbeispiele 1-4, Vergleichsbeispiele 1 und 2)

- 15 Bei den Ausführungsbeispielen und Vergleichsbeispielen wurden auf der Innenseite einer Zylinderbohrung (Innendurchmesser 86 mm) aus Gusseisen mit stückigem Graphit (FC 230) Oberflächengrübchen ausgebildet.

- 20 <Verfahren zum Ausbilden der Oberflächengrübchen>

- Durch das in Fig. 4 gezeigte Gerät wurde als Hochdruckfluid Wasser auf die Innenseite der Zylinderbohrung gespritzt. Bei diesem Gerät war innerhalb der
- 25 Zylinderbohrung 10 ein Düsenkörper 20 mit einer Hochdruckwasseraufspritzdüse 21 angeordnet. Während das Hochdruckwasser 30 (Wasser) mit verschiedenen Aufspritzdrücken auf die Innenseite der Zylinderbohrung 10 aufgespritzt wurde, wurde der Düsenkörper 20 gedreht und
- 30 entlang der Drehachse bewegt. Der Abstand zwischen der Hochdruckwasseraufspritzdüse 21 und der Innenseite der Zylinderbohrung betrug 10 mm. Die Drehgeschwindigkeit des Düsenkörpers 20 betrug 650 U/min und die Bewegungsgeschwindigkeit des Düsenkörpers 20 in Drehachsenrichtung
- 35 5 mm/s. Die Behandlung erfolgte unter diesen Bedingungen

einmal. Die Zylinderbohrungen 10, die durch das Aufspritzen des Hochdruckwassers mit unterschiedlichem Druck erzielt wurden, wurden als Versuchskörper des Ausführungsbeispiels 1 verwendet.

5

Die Versuchskörper des Ausführungsbeispiels 2 wurden erzielt, indem der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers auf 270 MPa eingestellt wurde und die Bewegungsgeschwindigkeit des Düsenkörpers 20 in Drehachsenrichtung geändert wurde.

10

Bei sowohl dem Ausführungsbeispiel 1 als auch dem Ausführungsbeispiel 2 betrug die Oberflächenhärte der Versuchskörper etwa Hv 220.

15

Der Probekörper des Ausführungsbeispiels 3 wurde angefertigt, indem Hochdruckwasser (280 MPa, Bewegungsgeschwindigkeit des Düsenkörpers 5 mm/s) auf die lineare Innenseite eines Einzylinderaluminiummotors (Abgabemenge 500 ml) mit einer Zylinderauskleidung aus FC 230 gespritzt wurde. Der Probekörper des Vergleichsbeispiels 1 wurde ohne Behandlung des Aluminiummotors hergestellt.

20

Der Probekörper des Ausführungsbeispiels 4 wurde hergestellt, indem das Hochdruckwasser auf eine Oberfläche aus FC 230 mit Scheibenform gespritzt wurde. Das Hochdruckwasser wurde bei 300 MPa mit unterschiedlicher Bewegungsgeschwindigkeit der Hochdruckwasseraufspritzdüse aufgespritzt.

30

<Oberflächenölanteil an Innenseite der Zylinderbohrung>

Bei den Probekörpern der Ausführungsbeispiele 1 und 2 wurde der Oberflächenölanteil gemessen. Zur Berechnung des Oberflächenölanteils wurde die Innenseite der

35

03.05.02

-29-

DE 100 85 168 T1

Zylinderbohrung 60 s lang in 150°C heißes Motoröl (5W-30) getaucht und die Oberfläche dann mit Baumwolltuch abgezogen. Der Ölanteil pro Einheitsfläche wurde anhand der Gewichtsänderung vor und nach dem Abziehen berechnet.

5

<Messung der Oberflächenrauheit>

Bei den Probekörpern des Ausführungsbeispiels 2 wurde die Oberflächenrauheit gemessen. Als Rauheitsangaben wurden
10 Rk und Rvk verwendet. Rk gibt in erster Linie die Oberflächenrauheit des Terrassenabschnitts an, während Rvk in erster Linie die Oberflächenrauheit des Oberflächen-
grübchenabschnitts angibt. Rk und Rvk lassen sich durch eine Relativlastkurve (BC) berechnen, die anhand einer
15 speziellen Rauheitskurve berechnet wird, die sich wiederum aus dem Querschnittsverlauf bzw. der Querschnittskurve berechnet.

Bei der Bestimmung von Rk wird die BC-Kurve von 40% der
20 Breite der Relativlastlänge (tp) zu zwei bestimmten Punkten umgeben, die an beiden Enden liegen und die geringste Tiefendifferenz aufweisen. Durch das Verfahren der kleinsten Quadrate wird auf Grundlage des zwischen den beiden Punkt gelegenen Kurvenabschnitts eine
25 Näherungskurve bestimmt. Wenn die Kreuzungspunkte zwischen der Verlängerungslinie der Linearlinie, der 0%-Grenzlinie und der 100%-Grenzlinie als Punkt A und Punkt B bezeichnet werden, lässt sich Rk als die Tiefendifferenz zwischen dem Punkt A und dem Punkt B bestimmen.

30

Wenn der Kreuzungspunkt zwischen einer horizontalen Linie vom Punkt B und der BC-Kurve als Punkt D bezeichnet wird, wird bei der Bestimmung von Rvk der Flächenwert
berechnet, der von dem Liniensegment BD, der BC-Kurve und
35 der 100%-Grenzlinie umgeben ist. In einem rechtwinkligen

Dreieck mit dem gleichen Flächenwert wie die angesprochene umgebene Fläche lässt sich R_{vk} als Höhe errechnen, wenn das Liniensegment BD die Basis bildet.

- 5 Die Querschnittskurve der Probekörper des Ausführungsbeispiels 2 wurde mit einem von Kosaka Laboratory hergestellten "Surfcorder SE-3400" gemessen.

10 Die spezielle Rauheitskurve wird auf folgende Weise auf Basis der Querschnittskurve bestimmt. Zunächst wird die Querschnittskurve abgeflacht (ISO-Gauss ? Filter), um eine Schwellkurve zu bestimmen. Die Schwellkurve und der Querschnittskurve werden verglichen, um die Querschnittskurve zu bestimmen. Wenn die Querschnittskurve höher als
15 die erste Schwellkurve ist, wird eine die ersten Schwellkurven verbindende Kurvenlinie bestimmt. Wenn die Querschnittskurve dagegen niedriger als die erste Schwellkurve ist, wird eine die ersten Schwelllinien verbindende Kurvenlinie bestimmt. Die auf diese Weise
20 bestimmte Kurve wird abgeflacht, um die zweite Schwellkurve zu bestimmen. Die spezielle Rauheitskurve wird ermittelt, indem die zweite Schwellkurve von der Querschnittskurve abgezogen wird.

- 25 Die Relativlastkurve wird bestimmt, indem die spezielle Rauheitskurve in der Reihenfolge höherer Abschnitt zu niedrigerer Abschnitt angeordnet wird.

<Oberflächenuntersuchung>

30

Die Oberfläche der Probekörper gemäß Ausführungsbeispiel 2 wurde mit einem metallurgischen Mikroskop untersucht.

<Motorversuch>

35

Unter Verwendung des Aluminiummotors von Ausführungs-
beispiel 3 und des Aluminiummotors von Vergleichsbeispiel
1 wurde unter den folgenden Bedingungen ein Motorversuch
durchgeführt.

5

Umdrehungszahl: zwischen 800 bis 3000 U/min
Versuchsdauer: 15 min pro Umdrehungszahl
Öltemperatur: 60°C, 80°C, 100°C und 120°C
Wassertemperatur: 60°C, 80°C, 100°C und 120°C

10

(Oberflächenreibungsdauerprüfung)

Bei der Oberflächenreibungsdauerprüfung wurden die
Probekörper des Ausführungsbeispiels 4 auf der Ober-
fläche, an der die Grübchen ausgebildet waren, mit Öl
(5W-30) besprüht und bei 300 U/min gedreht.

Ein Teilstück, das durch Schneiden eines Nitridkolben-
rings in eine Länge von 5 mm erhalten wurde, wurde auf
der Oberfläche auf einen 10 mm vom Drehzentrum entfernten
Abschnitt gepresst, sodass die Hertzbeanspruchung 300 MPa
betrug. Der gleiche Versuch wurde für den Probekörper des
Vergleichsbeispiels 2 durchgeführt, der nicht der
Hochdruckwasseraufspritzbehandlung unterzogen worden war.
Nach dem Prüflauf wurde der Reibungskoeffizient der
Oberfläche der Probekörper von Ausführungsbeispiel 4 und
Vergleichsbeispiel 2 gemessen.

<Versuchsergebnis>

30

Das Versuchsergebnis für den Oberflächenölanteil der
Versuchskörper des Ausführungsbeispiels 1 ist in Fig. 5
gezeigt. Wie daraus hervorgeht, erhöht sich der
Oberflächenölanteil, wenn der Aufspritzdruck auf mehr als

03.05.02
DE 100 85 168 T1

140 MPa eingestellt wird, und nimmt weiter zu, wenn der Aufspritzdruck auf mehr als 240 MPa eingestellt wird.

Der Zusammenhang zwischen dem Oberflächenölanteil und Rvk bei dem Probekörper des Ausführungsbeispiels 2 ist in Fig. 6 gezeigt. Wie daraus hervorgeht, zeigen der Oberflächenölanteil und Rvk einen guten Zusammenhang, wobei Rvk mit zunehmendem Oberflächenölanteil steigt. Die Tiefe der Grübchen ist auch bei steigendem Rvk-Wert konstant.

Die konstante Tiefe scheint durch den konstanten Aufspritzdruck des Hochdruckwassers hervorgerufen zu werden. Aus diesem Grund stellt der gezeigte Rvk-Wert keine Erhöhung der Grübchentiefe, sondern eine Zunahme der Gesamtanzahl an Grübchen dar.

Ein Beispiel für den Querschnitt des Ausführungsbeispiels 2 ist in Fig. 7 gezeigt, wobei sich der Zusammenhang zwischen Rk und Rvk Fig. 8 entnehmen lässt. Fig. 7(a) zeigt die Querschnittskurve des Probekörpers vor der Hochdruckwasseraufspritzung und Fig. 7(b) nach der Hochdruckwasseraufspritzung. Wie aus diesen Figuren hervorgeht, nimmt die Oberflächenrauheit an den anderen Abschnitten als den Grübchenabschnitten trotz der Zunahme von Rvk, d.h. trotz der zunehmenden Gesamtanzahl an Grübchen, nicht zu.

Die Oberflächenuntersuchung des Probekörperstücks des Ausführungsbeispiels 2 bestätigte, dass wie in Fig. 9 gezeigt die Graphitteilchen entfernt wurden.

Anhand des Motorversuchs ergab sich, dass die Reibung um 3,2% abnahm, was einer Reichweitenzunahme von 1,5% entspricht.

Das Ergebnis der Oberflächenreibungsdauerprüfung ist in
Fig. 10 gezeigt. Wie daraus hervorgeht, wiesen sämtliche
Probekörper, die der Hochdruckwasserbehandlung unterzogen
wurden, ungeachtet der Rvk-Werte einen geringen Reibungs-
5 koeffizienten auf.

(Ausführungsbeispiele 5-11, Vergleichsbeispiele 3-6)

<Messverfahren für die Oberflächenrauheit>

10

Bei den Ausführungsbeispielen 5 bis 11 und den
Vergleichsbeispielen 3 bis 6 wird Rz als Angabe für die
Oberflächenrauheit verwendet. Bei der Bestimmung von Rz
wird in Richtung der Durchschnittslinie eine Standard-
15 länge (0,25 mm) der Rauheitskurve abgeschnitten und in
Richtung der vertikalen Vergrößerung von der
Durchschnittslinie dieses abgeschnittenen Abschnitts aus
gemessen. Die Summe des Mittels der Absolutwerte der
höchsten Spitze (Yp) zur fünfthöchsten Spitze und das
20 Mittel der Absolutwerte des tiefsten Tals (Yv) zum
fünfttiefsten Tal wird ausgerechnet und in Mikrometer
(μm) aufgezeigt. In dieser Beschreibung ist die Ober-
flächenrauheit durch den zulässigen Maximalwert von Rz
aufgezeigt. So bedeutet beispielsweise 0,5 Rz, dass der
25 Mittelwert von einigen Rz-Werten, die der zugewiesenen
Oberfläche nach Wahl entnommen wurden, größer als 0 μm Rz
und kleiner als 0,5 μm Rz war.

<Hochdruckwasserbehandlung>

30

Ähnlich wie bei den Ausführungsbeispielen 1 bis 4 wurde
von dem in Fig. 4 gezeigten Gerät als Hochdruckfluid
Wasser auf die Innenseite der Zylinderbohrung gespritzt.
Das heißt, dass der Düsenkörper 20 mit der Hochdruck-
35 wasseraufspritzdüse 21 innerhalb der Zylinderbohrung 10

angeordnet war. Der Düsenkörper 20 drehte sich, während
das Hochdruckwasser (Wasser) 30 mit verschiedenen
Aufspritzdrücken auf die Innenseite der Zylinderbohrung
gespritzt wurde, und bewegte sich in Achsenrichtung. Der
5 Abstand zwischen der Hochdruckwasseraufspritzdüse 21 und
der Innenseite der Zylinderbohrung wurde auf 10 mm
eingestellt. Die Behandlungsbedingungen wie die Dreh-
geschwindigkeit des Düsenkörpers 20, die Düsenbewegungs-
geschwindigkeit in Drehachsenrichtung des Düsenkörpers 20
10 und der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers wurden bei
jedem Versuchskörper geändert.

<Versuchskörper>

15 (Ausführungsbeispiel 5)

(Grübchenbildung)

- 20 1. Nach einem Kugelstrahlen (balling) der Innenseite der
Gusseisenauskleidung (FC 230) wurde ein Honvorgang
durchgeführt. Die Oberflächenrauheit der Hon-
endbearbeitung betrug weniger als 0,5 Rz.
- 25 2. Die FC-Auskleidung wurde der Hochdruckwasser-
behandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingungen
wurde ein Aufspritzdruck für das Hochdruckwasser von
280 MPa, eine Umdrehungsgeschwindigkeit der Düse von
650 U/min und eine Bewegungsgeschwindigkeit der Düse
von 30 mm/s eingestellt.

30

(Oberflächenzustand)

Die Oberfläche hatte den in Fig. 11 gezeigten
Querschnittscharakter (Rauheitsverlauf). Obwohl die
35 Oberflächenrauheit an der Oberfläche des Terrassen-

abschnitts a mit $0,3 \mu\text{m}$ Rz sehr gering war, hatten die
Grübchenabschnitte b eine mittlere Tiefe von $5 \mu\text{m}$. Das
heißt, dass Grübchen mit einer scharfen Spitze
ausgebildet werden konnten, ohne die Oberflächenrauheit
5 der Oberfläche zu beeinflussen.

Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum
Ausbilden von Oberflächengrübchen konnte eine Oberfläche
erzielt werden, in der sich der flache Terrassenabschnitt
10 und der Grübchenabschnitt vermengten. Eine solche Ober-
fläche miteinander vermengten Abschnitten unterschied-
licher Festigkeit konnte aus folgenden Gründen realisiert
werden. Die Abschnitte des zu behandelnden Bauteils, die
eine verhältnismäßig hohe Festigkeit aufwiesen (hoch-
15 fester Abschnitt, Abschnitte aus hauptsächlich Zementit
und Perlit) wurden durch das Aufspritzen des Hochdruck-
wassers nicht beeinflusst, während der Abschnitt, der
eine geringere Festigkeit als die Stoßkraft des Hoch-
druckwassers aufwies (schwache Abschnitte; hauptsächlich
20 Abschnitte aus stückigem Graphit), entfernt oder zu
Höhlungen geformt wurde, sodass sich die Grübchen
ergaben.

Wie in Fig. 12 gezeigt ist, wurde bei dem Ausführungs-
25 beispiel 5 außer dem stückigem Graphit ein Teil
(isolierter Abschnitt) der aus Perlit und Zementit
bestehenden und von dem stückigem Graphit (hochfester
Abschnitt) umgebenen Matrix entfernt, sodass sich die
Grübchen ergaben.

30

(Ausführungsbeispiel 6)

(Grübchenbildung)

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite der Guss-
eisenauskleidung (FC 230), wurde ein Honvorgang
durchgeführt. Die Oberflächenrauheit der Hon-
bearbeitung betrug weniger als 0,5 Rz.
- 5 2. Die FC-Auskleidung wurde der Hochdruckwasser-
behandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingungen
wurde ein Aufspritzdruck für das Hochdruckwasser von
150 MPa, eine Düsenumdrehung von 650 U/min und eine
10 Bewegungsgeschwindigkeit der Düse von 2 mm/s
(vorwärts) und 30 mm/s (rückwärts) eingestellt.

(Oberflächenzustand)
- 15 Bei dem Ausführungsbeispiel 6 wurde durch die
Verringerung des Aufspritzdrucks des Hochdruckwassers
gegenüber dem des Ausführungsbeispiels 5 lediglich der
Graphitabschnitt (schwache Abschnitte) entfernt, ohne den
isolierten Abschnitt zu entfernen (Fig. 13). Die Ober-
20 fläche wies an dem Terrassenabschnitt ähnlich wie das
Ausführungsbeispiel 5 eine Oberflächenrauheit von 0,5 µm
Rz, was der einer Spiegelfläche entsprach, und an dem
Grübchenabschnitt eine mittlere Tiefe von 3 µm auf.
- 25 Die Bewegungsgeschwindigkeit während der Rückwärts-
bewegung (30 mm/s) war bei der Hochdruckwasserbehandlung
schneller als bei der Vorwärtsbewegung (2 mm/s) gewählt.
Die geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit von 2 mm/s
erzeugte auf der zu behandelnden Oberfläche während der
30 Behandlung roten Rost. Die hohe Verarbeitungsgeschwindig-
keit von 30 mm/s während der Rückwärtsbewegung wurde so
gewählt, dass das Entstehen von rotem Rost verhindert
wurde.
- 35 (Ausführungsbeispiel 7)

(Grübchenbildung)

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite einer
5 Aluminiumauskleidung aus PMC (Pulvermetall-
Verbundwerkstoff) erfolgte der Formvorgang. Die
Oberflächenrauheit der Honbearbeitung betrug weniger
als 0,4 Rz. In dem PMC-Aluminium waren Aluminium-
10 legierungspulver, Keramikpulver und Silikonteilchen
im dispergierten Zustand als Sinterkörper gemischt.
Er enthielt als schwache Abschnitte geringer
Festigkeit den Aluminiumlegierungsteil und als
hochfesten Abschnitt mit verhältnismäßig hoher
Festigkeit die Keramikpulver und Silikonteilchen.
15
2. Die PMC-Aluminiumauskleidung wurde der Hochdruck-
wasserbehandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingun-
gen wurden ein Aufspritzdruck des Hochdruckwassers
von 280 MPa, eine Umdrehungsgeschwindigkeit der Düse
20 von 650 U/min und eine Bewegungsgeschwindigkeit der
Düse von 5 mm/s eingestellt.

(Oberflächenzustand)

- 25 Wie in der Querschnittsansicht von Fig. 14 gezeigt ist,
wurden durch das Entfernen der schwachen Abschnitte durch
die Hochdruckwasserbehandlung Grübchen mit scharfen
Spitzen gebildet, ohne die Oberflächenrauheit der Ober-
fläche zu beeinflussen.

30

Der Oberflächenschichtabschnitt des zu bearbeitenden Bauteils ist demnach nicht auf Gusseisen eingeschränkt, sondern kann auch eine Oberfläche umfassen, bei der der Abschnitt hoher Festigkeit (hochfester Abschnitt) und der

Abschnitt geringer Festigkeit (schwache Abschnitte)
ungeachtet der Materialien gemischt sind.

(Ausführungsbeispiel 8)

5

(Grübchenbildung)

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite der Bohrung
eines Zylinderblocks aus MMC (Metallmatrix-Verbund-
werkstoff) wurde ein Honvorgang durchgeführt. Die
Oberflächenrauheit der Honbearbeitung wurde auf
weniger als 0,5 Rz eingestellt. In dem MMC waren
Mullittleilchen und Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Fasern
(hochfester Abschnitt) in einem Aluminiumgrund-
material (schwache Abschnitte) dispergiert.

2. Die Bohrung aus MMC wurde der Hochdruckwasser-
behandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingungen
wurden der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers auf
200 MPa, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Düse auf
650 U/min und die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse
auf 20 mm/s eingestellt.

(Oberflächenzustand)

25

Wie in dem Querschnitt von Fig. 15 gezeigt ist, wurden
durch das Entfernen der schwachen Abschnitte durch die
Hochdruckwasserbehandlung Grübchen mit scharfen Spitzen
ausgebildet, ohne die Oberflächenrauheit der Oberfläche
allzu stark zu beeinflussen. Diese Grübchen wurden von
den entfernten Abschnitten des Aluminiumgrundmaterials
gebildet. Daraus ergibt sich, dass die schwachen
Abschnitte des Oberflächenschichtabschnitts des zu
bearbeitenden Bauteils Abschnitte sein können, an denen

03.05.02

DE 100 85 168 T1

die durchgängige Matrix ausgebildet ist, solange sie sich leichter als die anderen Abschnitte entfernen lassen.

(Ausführungsbeispiel 9)

5

(Grübchenbildung)

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite einer aus Gusseisen (FC 230) bestehenden Auskleidung wurde ein Honvorgang durchgeführt. Die Oberflächenrauheit der Honbearbeitung betrug weniger als 0,5 Rz.
2. Bei den anderen Ausführungsbeispielen wurde die das Hochdruckwasser aufspritzende Düse wie in Fig. 16(a) gezeigt zur Drehrichtung schräg gehalten, wobei das Hochdruckwasser 30 konstant auf die zu verarbeitende Oberfläche gespritzt wurde. Bei diesem Ausführungsbeispiel wurde jedoch der zu einer dünnen Linie gestaltete Auslass der Düse wie in Fig. 16(b) gezeigt mit der Drehvorschubrichtung so in Übereinstimmung gebracht, dass die Behandlungsbreite des zu behandelnden Bauteils kleiner als 0,1 mm war.
3. Die FC-Auskleidung wurde der Hochdruckwasserbehandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingungen wurden der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers auf 280 MPa, die Drehgeschwindigkeit der Düse auf 650 U/min und die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse auf 30 mm/s eingestellt.

30

(Oberflächenzustand)

Wie aus Fig. 17 hervorgeht, ist auf der Oberfläche des bearbeitenden Bauteils eine lineare Höhlung (bearbeiteter Abschnitt) zu erkennen, der die Grenze zwischen den

35

bearbeiteten Abschnitt und dem nicht bearbeiteten
Abschnitt kenntlich macht.

Mit der Düse dieses Ausführungsbeispiels kann der
5 behandelte Abschnitt in Spiralform und in den
verschiedenen in Fig. 19 gezeigten Formen ausgebildet
werden. Diese Formen werden durch geeignete Kombination
der Vorschubgeschwindigkeit der Düse und das Ein-/
Ausschalten des Wasserflusses realisiert. Dies kann auch
10 dadurch geschehen, dass die Oberfläche des zu bearbeiten-
den Bauteils abgedeckt wird. Abgesehen davon können auch
andere als die in Fig. 19 gezeigten Formen realisiert
werden.

15 Der behandelte Abschnitt dieses Ausführungsbeispiels
schaute makroskopisch wie eine Auskleidung aus. Wie
jedoch aus Fig. 18 hervorgeht, die eine Vergrößerung des
in Fig. 17 eingekreisten Abschnitts ist, stellte er sich
mikroskopisch wie bei den anderen Ausführungsbeispielen
20 als eine Anordnung mehrerer feiner Grübchen dar.

(Ausführungsbeispiel 10)

(Grübchenbildung)

25

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite einer
Aluminiumauskleidung aus PMC wurde ein Honvorgang
durchgeführt. Die Oberflächenrauheit der
Honbearbeitung betrug weniger als 0,5 Rz.

30

2. Es wurde die gleiche Düse wie bei dem obigen
Ausführungsbeispiel 9 verwendet.

3. Die PMC-Aluminiumauskleidung wurde der Hochdruck-
35 wasserbehandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingun-

gen wurden der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers auf 300 MPa, die Drehgeschwindigkeit der Düse auf 650 U/min und die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse auf 60 mm/s eingestellt.

5

(Oberflächenzustand)

Der Oberflächenzustand des PMC-Aluminiums war der gleiche wie der der Gusseisenauskleidung. Und zwar war, wie sich
10 aus dem Vergleich des Zustands vor der Behandlung (Fig. 20) und des Zustands nach der Behandlung (Fig. 21) ergibt, auf der Oberfläche des behandelten Bauteils ähnlich wie bei dem Ausführungsbeispiel 9 eine Auskleidungshöhlung (behandelter Abschnitt) zu erkennen.
15 Dieser machte die Grenze zwischen dem bearbeiteten Abschnitt und dem nicht bearbeiteten Abschnitt kenntlich.

(Ausführungsbeispiel 11)

20 (Grübchenbildung)

1. Nach einem Kugelstrahlen der Innenseite einer aus Gusseisen (FC 230) bestehenden Auskleidung wurde ein Honvorgang durchgeführt. Die Oberflächenrauheit der
25 Honbearbeitung betrug weniger als 1,2 Rz.

2. Die FC-Auskleidung wurde der Hochdruckwasserbehandlung unterzogen. Als Behandlungsbedingung wurden der Aufspritzdruck des Hochdruckwassers auf
30 300 MPa, die Drehgeschwindigkeit der Düse auf 650 U/min und die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse auf 4 mm/s eingestellt.

3. Nach der Hochdruckbehandlung wurde die Oberfläche
35 einem Honvorgang unterzogen, um die Oberflächen-

rauheit des Terrassenabschnitts auf weniger als
0,5 Rz einzustellen. Der Honumfang wurde so gewählt,
dass eine Grübchentiefe von mehr als 5 µm
gewährleistet wurde.

5

(Oberflächenzustand)

Durch die Hochdruckwasserbehandlung konnten wie in Fig.
22 gezeigt Grübchen mit scharfen Spitzen gebildet werden,
10 ohne die Oberflächenrauheit der Oberfläche allzu stark zu
beeinflussen.

Daraus ergibt sich, dass die durch das beschriebene
Verfahren gebildeten Grübchen zurückblieben, ohne durch
15 einen darauffolgenden mechanischen Vorgang wie das Honen
gebrochen zu werden. Abgesehen von dem Gusseisen kann der
mechanische Vorgang auch bei den anderen Materialien nach
dem Ausbilden der Grübchen vorgenommen werden, auch wenn
dies nicht gezeigt ist.

20

(Vergleichsbeispiele 3 bis 6)

(Probekörper)

25 Als Probekörper für die Vergleichsbeispiele wurden ein
Probekörper, bei dem durch den Honvorgang auf der
Oberfläche Kreuzschraffuren gebildet wurden
(Vergleichsbeispiel 3), ein Probekörper, der einer
Feinstrahlverfestigungsbehandlung unterzogen wurde
30 (Vergleichsbeispiel 4), und Probekörper mit einer
Spiegelfläche (0,5 Rz) angefertigt, die durch Honen einer
FC-Auskleidung und einer Aluminiumauskleidung gebildet
wurde (Vergleichsbeispiele 5 und 6).

35 (Oberflächenzustand)

Die Oberflächenrauheit der Oberfläche des Vergleichs-
beispiels 3 betrug $2,8 \mu\text{m Rz}$ (Fig. 24). Die Querschnitts-
form des der Feinstrahlverfestigungsbehandlung unter-
zogenen Probekörpers des Vergleichsbeispiels 4 ist in
5 Fig. 25 gezeigt und die Querschnittsform der der Spiegel-
flächenbehandlung unterzogenen Probekörper der
Vergleichsbeispiele 5 und 6 sind in den Figuren 26 und 27
gezeigt.

10

<Versuch>

(Reibungskoeffizienten-Messversuch)

15 Es wurde der Einfluss der Grübchentiefe und des mittleren
Grübchenabstands (Länge des nicht dem Aufspritzen
unterzogenen Abschnitts) auf den Reibungskoeffizienten
ermittelt.

20 Der mittlere Grübchenabstand entspricht bei einem
normalen lochartigen Grübchen der mittleren Grübchentiefe
und dem kürzesten Abstand zwischen den Grübchen. Er
entspricht bei den linearen Grübchengruppen der
Ausführungsbeispiele 9 und 10 dem mittleren Abstand
25 zwischen einer linearen Grübchengruppe und der benachbar-
ten linearen Grübchengruppe.

Der Versuch erfolgte, indem das Probestück und ein
Nitridkolbenring mit 300 Zyklen/s, einer Gleitbreite von
30 40 mm und einer Hertzbelastung von 160 MPa gleiten
gelassen wurden. Das Probestück wurde durch Heraus-
schneiden eines Teils aus den Probekörpern der
Ausführungsbeispiele 5 bis 11 und der Vergleichsbeispiele
3 bis 6 angefertigt. Diese wurden durch Aufspritzen des
35 Hochdruckwassers auf die Innenseite einer Auskleidung und

03.05.02
DE 100 85 168 T1

eines Bohrlochs mit einem Innendurchmesser von 82 bis 86 mm erzielt.

Öl der SJ-Klasse 5W-30 wurde mit 1 ml/min auftropfen
5 gelassen (die Oberfläche wurde stets mit dem Öl geschmiert) und aufgesprüht.

(Ergebnis)

10 Das Ergebnis ist in Fig. 23 gezeigt. Die Grübchentiefe ist mit d bezeichnet und der mittlere Grübchenabstand mit p . Wie daraus hervorgeht, zeigt ein Grübchenabstand von 0,1 bis 1,4 mm bei einer Grübchentiefe von 5 μm und ein Grübchenabstand von 0,25 bis 2,8 mm bei einer Grübchen-
15 tiefe von 10 μm und ein Grübchenabstand von 0,4 bis 4,5 mm bei einer Grübchentiefe von 20 μm einen geringeren Reibungskoeffizienten als die der herkömmlichen Hon-
behandlung unterzogene Oberfläche. Daher beträgt der allgemeine Zusammenhang zwischen der Grübchentiefe (d)
20 und den Grübchenabstand (b) vorzugsweise $20d \leq p \leq 200d$. Wenn p kleiner als $20d$ ist, nimmt der Reibungskoeffizient plötzlich zu, während es bei weniger als $200d$ aufgrund eines Ölmangels zu einer Abnutzung kommt. Der Zusammen-
hang zwischen der Grübchentiefe und der Länge des nicht
25 der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitts zeigt die gleiche Tendenz wie der Zusammenhang zwischen der Grübchentiefe und dem Grübchenabstand, auch wenn dies nicht gezeigt ist.

30 (Abnutzungsversuch)

Es wurde der Zusammenhang zwischen dem Reibungs-
koeffizienten und der Zeit bis zum Auftreten einer
Abnutzung gemessen. Der Versuch erfolgte, indem ein
35 Probestück und ein Nitritkolbenring mit 300 Zyklen/s,

03.05.02

-45-

DE 100 85 168 T1

einer Gleitbreite von 40 mm und einer Hertzbelastung von 160 MPa gleiten gelassen wurden. Die Probestücke wurden durch Herausschneiden eines Teils aus den Probekörpern der Ausführungsbeispiele 5 bis 11 und der Vergleichsbeispiele 3 bis 6 angefertigt. Sie wurden erzielt, indem das Hochdruckwasser auf die Innenseite einer Auskleidung und einer Bohrung mit einem Innendurchmesser von 82 bis 86 mm gespritzt wurde. Die Hertzbelastung wurde beim Messen des Reibungskoeffizienten auf 160 MPa und bei der Messung der Zeit bis zum Auftreten der Abnutzung auf 48 MPa eingestellt. Vor Versuchsbeginn wurde auf die Reibfläche 0,3 mg/cm² Öl der SJ-Klasse 5W-30 aufgebracht.

(Ergebnisse)

Die Ergebnisse sind in Fig. 28 gezeigt. Wie daraus hervorgeht, wiesen die der Hochdruckwasserbehandlung unterzogenen Probekörper der Ausführungsbeispiele im Vergleich zu dem durch das herkömmliche Honen einem Kreuzschraffurvorgang unterzogenen Probekörper (Vergleichsbeispiel 3) einen geringen Reibungskoeffizienten auf und dauerte es lange, bis es zu einer Abnutzung kam. Die der reinen Spiegelflächenbehandlung unterzogenen Probekörper der Vergleichsbeispiele 5 und 6 wiesen zwar anfangs einen geringen Reibungskoeffizienten auf, doch dauerte es verglichen mit dem Vergleichsbeispiel 3 nicht so lange, bis es zu einer Abnutzung kam. Die bessere Qualität der Probekörper der Ausführungsbeispiele 5 bis 11 scheint daher zu kommen, dass eine geringe Oberflächenrauheit die Reibung verringern kann und dass Grübchen geeigneter Tiefe und Anzahl als Ölspeicher dienen, was die Abnutzung verhindert.

Bei dem der Feinstrahlverfestigung unterzogenen Probekörper des Vergleichsbeispiels 4 dienten Eindrücke als

00.05.02

-46-

DE 100 85 168 T1

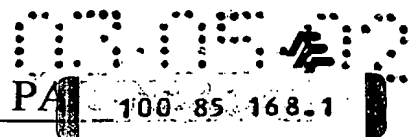
Ölspeicher, sodass sich eine gute Abnutzungsfestigkeit
ergab. Wie jedoch in Fig. 24 gezeigt ist, wies er
verteilte Erhabenheiten und Höhlungen auf, nicht aber den
für einen geringen Reibungskoeffizienten notwendigen
5 Terrassenabschnitt. Dadurch war der Reibungskoeffizient
höher.

Wie vorstehend beschrieben ist, stellt die Erfindung ein
einfaches und kostengünstiges Verfahren zum Ausbilden von
10 Oberflächengrübchen und ein Bauteil mit solchen Ober-
flächengrübchen zur Verfügung.

TBK

47

TIEDTKE - BÜHLING - KINNE & PA



TBK-Patent POB 20 19 18 80019 München

DE 100 85 168 T1

Patentanwälte

Dipl.-Ing. Harro Tiedtke
Dipl.-Ing. Reinhard Kinne
Dipl.-Ing. Hans-Bernd Pellmann
Dipl.-Ing. Klaus Grams
Dipl.-Ing. Aurel Vollnhals
Dipl.-Ing. Thomas J.A. Leson
Dipl.-Ing. Dr. Georgi Chivarov
Dipl.-Ing. Matthias Grill
Dipl.-Ing. Alexander Kühn
Dipl.-Ing. Rainer Böckelen
Dipl.-Ing. Stefan Klingele
Dipl.-Chem. Stefan Bühling
Dipl.-Ing. Ronald Roth

3. Mai 2002

DE 34525

ZUSAMMENFASSUNG

(Fig. 3A bis Fig. 3D)

Die Erfindung soll ein Verfahren zum Ausbilden eines Bauteils mit Oberflächengrübchen und das damit ausgebildete Produkt zur Verfügung stellen.

- 5 Das Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen umfasst einen Bauteilabstimmsschritt zum Erzielen eines Bauteils mit einem Oberflächenschichtabschnitt, der sich aus schwachen Abschnitten (1) und einem hochfesten Abschnitt (2) mit im Verhältnis höherer Festigkeit als
- 10 die schwachen Abschnitte aufbaut; und einen Aufspritzschritt zum Aufspritzen eines Hochdruckfluids auf eine Oberfläche des Bauteils, um zum Ausbilden von Grübchen (11) mindestens einen Teil der schwachen Abschnitte (1) zu entfernen.

15

Und zwar erscheinen die schwachen Abschnitte (1) auf dem Oberflächenschichtabschnitt des Bauteils, auf dem die Oberflächengrübchen (11) auszubilden sind. Das Hochdruck-

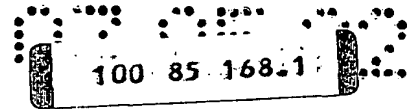
Dresdner Bank	München	Kto. 3939 844	BLZ 700 800 00
Deutsche Bank	München	Kto. 286 1060	BLZ 700 700 10
Postbank	München	Kto. 67043 804	BLZ 700 100 80
Dai-ichi-Kangyo Bank	Düsseldorf	Kto. 8104233007	BLZ 300 207 00
Sanwa Bank	Düsseldorf	Kto. 500 047	BLZ 301 307 00

/R

Telefon: +49 89 544690
Telefax (G3): +49 89 532611
Telefax (G3+G4): +49 89 5329095
E-Mail: postoffice@tbk-patent.de
Internet: http://www.tbk-patent.de
Bavariaring 4-6, 80336 München

DE 100 85 168 T1

-7- 48



fluid wird auf den Oberflächenschichtabschnitt
aufgespritzt, um die schwachen Abschnitte (1) von dem
Bauteiloberflächenschichtabschnitt zu entfernen. Die
entfernten Abschnitte in den schwachen Abschnitten bilden
5 die Grübchen (11).

TBK

49

03.05.02

TIEDTKE - BÜHLING - KINNE & PARTNER (GmbH)

DE 100 85 168 T1

TBK-Patent POB 20 19 18 80019 München

Patentanwälte

Dipl.-Ing. Harro Tiedtke
Dipl.-Ing. Reinhard Kinne
Dipl.-Ing. Hans-Bernd Pellmann
Dipl.-Ing. Klaus Grams
Dipl.-Ing. Aurel Vollnhals
Dipl.-Ing. Thomas J.A. Leson
Dipl.-Ing. Dr. Georgi Chivarov
Dipl.-Ing. Matthias Grill
Dipl.-Ing. Alexander Kühn
Dipl.-Ing. Rainer Böckelen
Dipl.-Ing. Stefan Klingele
Dipl.-Chem. Stefan Bühling
Dipl.-Ing. Ronald Roth

3. Mai 2002

DE 34525

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen,
mit:

einem Bauteilabstimmsschritt zum Erzielen eines
Bauteils mit einem Oberflächenschichtabschnitt, der sich
5 aus einem schwachen Abschnitt und einem hochfesten
Abschnitt mit im Verhältnis höherer Festigkeit als der
schwache Abschnitt aufbaut; und

einem Aufspritzschritt zum Aufspritzen von
Hochdruckfluid auf eine Oberfläche des Bauteils, um zum
10 Ausbilden von Grübchen zumindest einen Teil des schwachen
Abschnitts zu entfernen.

2. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
Anspruch 1, bei dem in dem Aufspritzschritt außer dem
15 schwachen Abschnitt zumindest ein Teil des hochfesten
Abschnitts entfernt wird.

3. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
Anspruch 1, bei dem in dem Aufspritzschritt das

Dresdner Bank München Kto. 3939 844 BLZ 700 800 00
Deutsche Bank München Kto. 286 1060 BLZ 700 700 10
Postbank München Kto. 67043 804 BLZ 700 100 80
Dai-ichi-Kangyo Bank Düsseldorf Kto. 8104233007 BLZ 300 207 00
Sanwa Bank Düsseldorf Kto. 500 047 BLZ 301 307 00
/R

Telefon: +49 89 544690
Telefax (G3): +49 89 532611
Telefax (G3+G4): +49 89 5329095
E-Mail: postoffice@tbk-patent.de
Internet: <http://www.tbk-patent.de>
Bavariaring 4-6, 80336 München

-2-50

03.05.02
DE 100 85 168 T1

Hochdruckfluid lediglich auf einen Teil des Oberflächen-
schichtabschnitts gespritzt wird.

4. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
5 Anspruch 1, bei dem der schwache Abschnitt in Stückform,
in Plattenform oder im Faserzustand vorliegt.
5. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
Anspruch 1, bei dem der Oberflächenschichtabschnitt aus
10 Gusseisen mit stückigem Graphit besteht.
6. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
Anspruch 1, bei dem der Oberflächenschichtabschnitt aus
PMC-Aluminium besteht, bei dem Aluminiumlegierungspulver,
15 Keramikpulver und Siliziumteilchen gemischt und gesintert
sind.
7. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
Anspruch 1, bei dem der Oberflächenschichtabschnitt aus
20 MMC-Aluminium besteht, bei dem Mullitteilchen und
Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Fasern in einem Aluminium-
grundmaterial dispergiert sind.
8. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
25 Anspruch 1, bei dem der Bauteilabstimmungsschritt ein
komplexes Flamspritzen oder ein komplexes Metallisieren
ist.
9. Verfahren zum Ausbilden von Oberflächengrübchen nach
30 Anspruch 1, mit einem Oberflächenabflachsschritt des
Oberflächenschichtabschnitts nach dem Bauteilabstimm-
schritt.

- 51 -

10. Bauteil mit Grübchen, die unter Aufspritzung eines Hochdruckfluids durch Entfernen von Teilen eines Oberflächenschichtabschnitts gebildet wurden.
- 5 11. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch 10, bei dem der mittlere Abstand zwischen den Grübchen 20- bis 200-mal so groß wie die mittlere Grübchentiefe ist.
- 10 12. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch 10, bei dem die Oberflächenschicht einer Hochdruckfluidaufspritzung unterzogene Abschnitte und nicht einer Hochdruckfluidaufspritzung unterzogene Abschnitte aufweist und die mittlere Länge der nicht der
15 Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitte größer als die mittlere Länge der der Hochdruckfluidaufspritzung unterzogenen Abschnitte ist und 20- bis 200-mal so groß wie die mittlere Grübchentiefe ist.
- 20 13. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch 10, bei dem sich der Oberflächenschichtabschnitt aus Gusseisen mit stückigem Graphit aufbaut und die Grübchen zumindest durch entfernte Graphitteilchen gebildet sind.
- 25 14. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch 10, bei dem sich der Oberflächenschichtabschnitt aus PMC-Aluminium aufbaut, bei dem Aluminiumlegierungspulver, Keramikpulver und Silikonteilchen gemischt und gesintert sind.
30
15. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch 10, bei dem sich der Oberflächenschichtabschnitt aus MMC-Aluminium aufbaut, bei dem Mullitteilchen und Aluminiumoxid-Siliziumoxid-Fasern in einem Aluminium-
35 grundmaterial dispergiert sind.

- 52

03.05.02

DE 100 85 168 T1

16. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch
10, bei dem eine die Grübchen aufweisende Oberfläche des
Bauteils flach ist.

5

17. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch
10, bei dem eine die Grübchen aufweisende Oberfläche des
Bauteils eine Oberfläche einer Zylinderbohrung und
Zylinderauskleidung eines Motors ist.

10

18. Bauteil mit den Oberflächengrübchen nach Anspruch
10, bei dem eine die Grübchen aufweisende Oberfläche des
Bauteils eine Oberfläche einer Zylinderbohrung oder
Zylinderauskleidung eines Kompressors oder eine

15 Oberfläche einer Taumelscheibe oder eines Schuhs eines
Taumelscheibenkompressors mit variablem Volumen ist.

- Leerseite -

FIG. 1

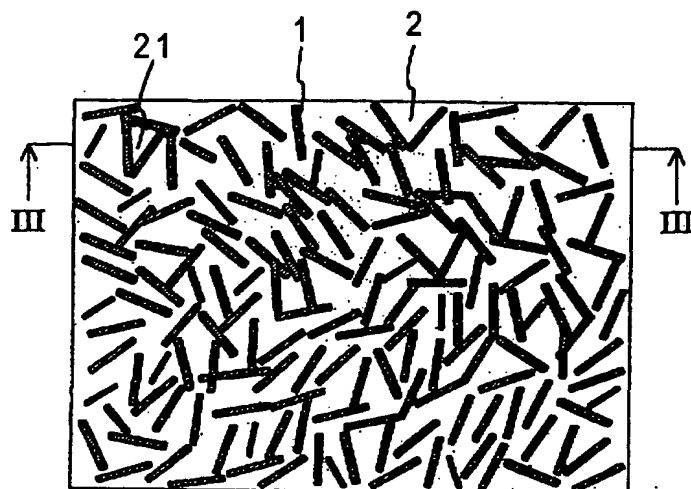


FIG. 2

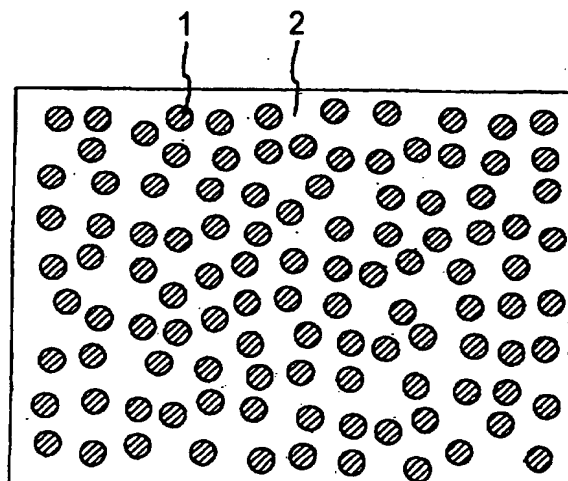


FIG. 3A

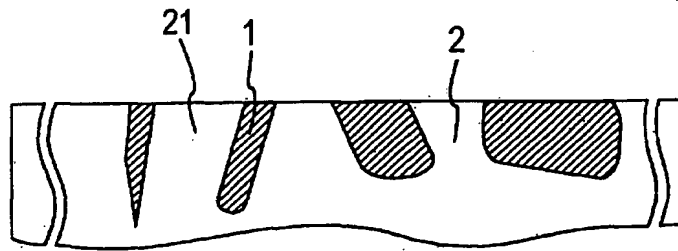


FIG. 3B

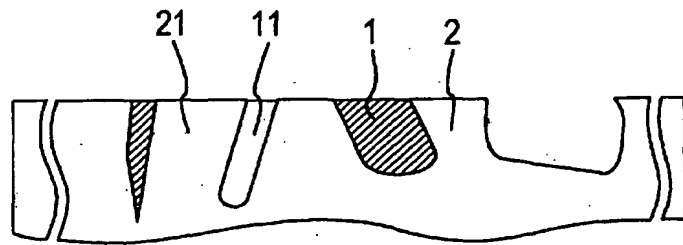


FIG. 3C

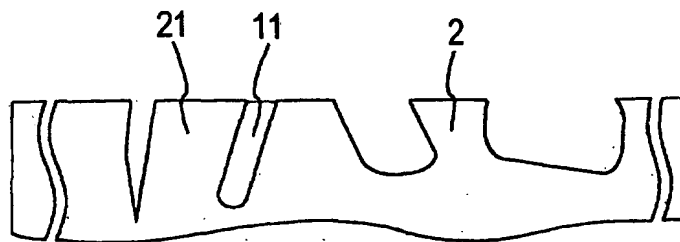
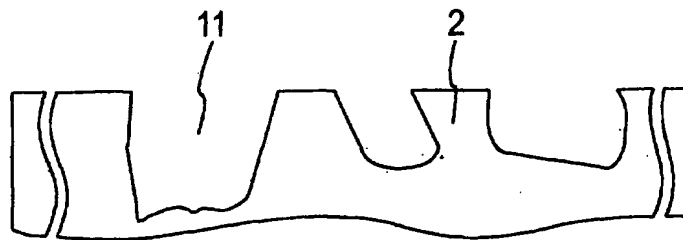


FIG. 3D

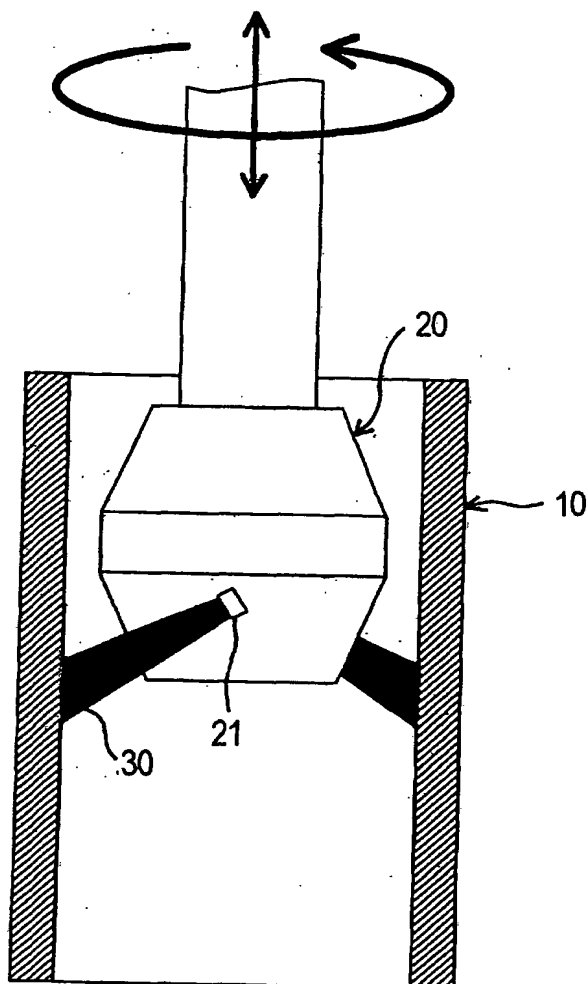


55

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 4



56

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 5

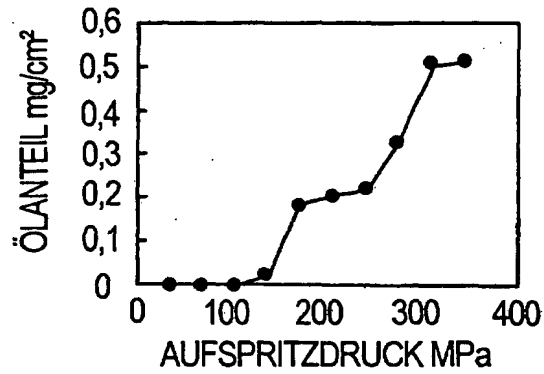
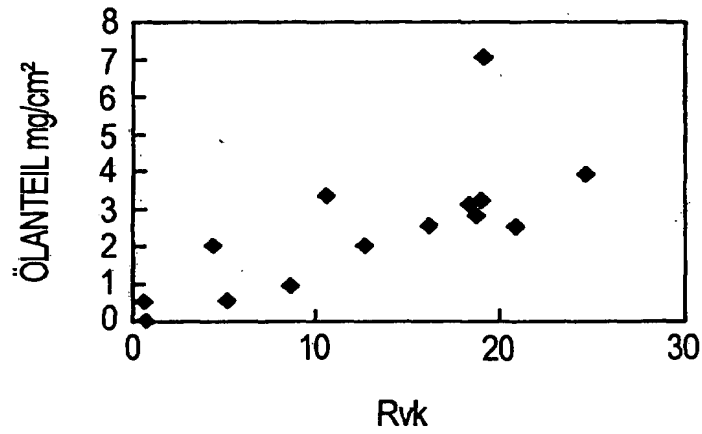


FIG. 6



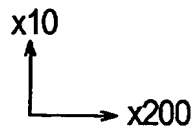
57

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 7A

ZUFUHRSEITE
PROBEKÖRPER



(VOR DER BEHANDLUNG)

FIG. 7B

ZUFUHRSEITE
PROBEKÖRPER



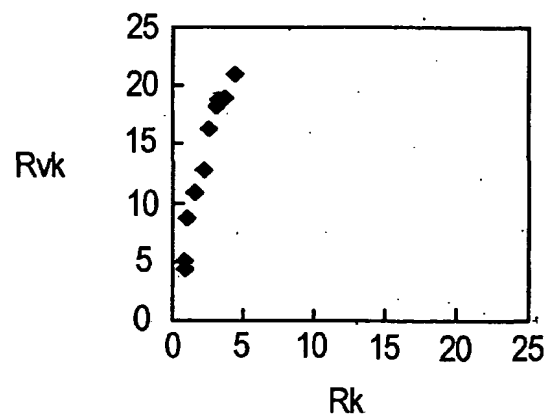
(NACH DER BEHANDLUNG)

58

03-05-02

DE 100 85 168 T1

FIG. 8

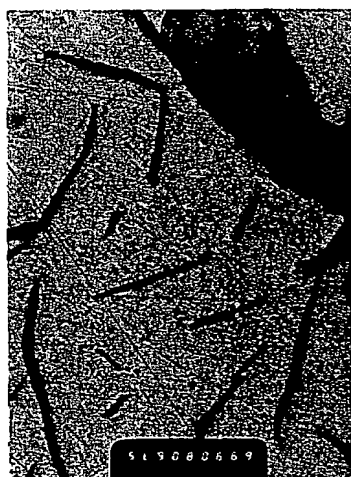


59

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 9B



x400

FIG. 9A



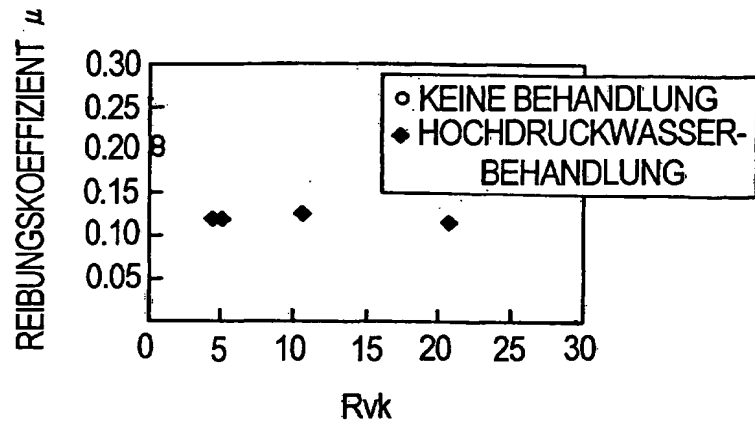
x50

60

03.09.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 10



61

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 11

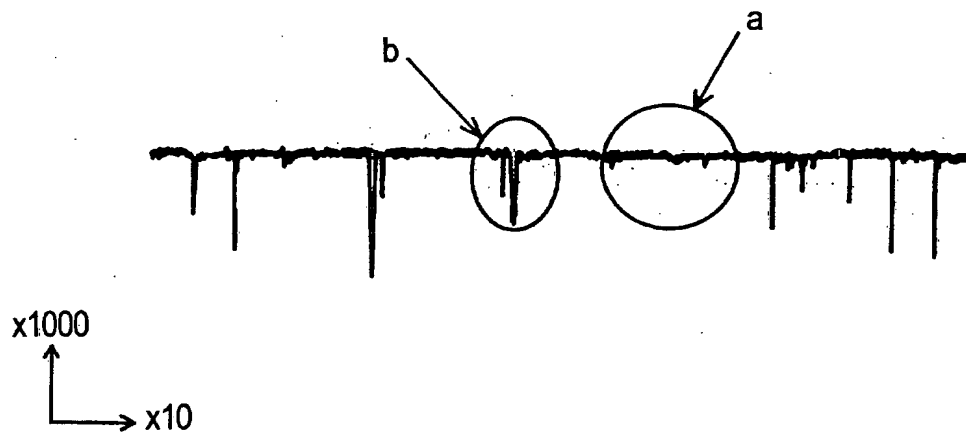
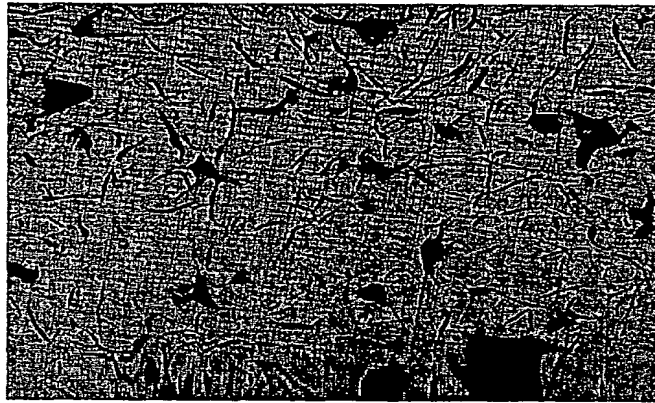
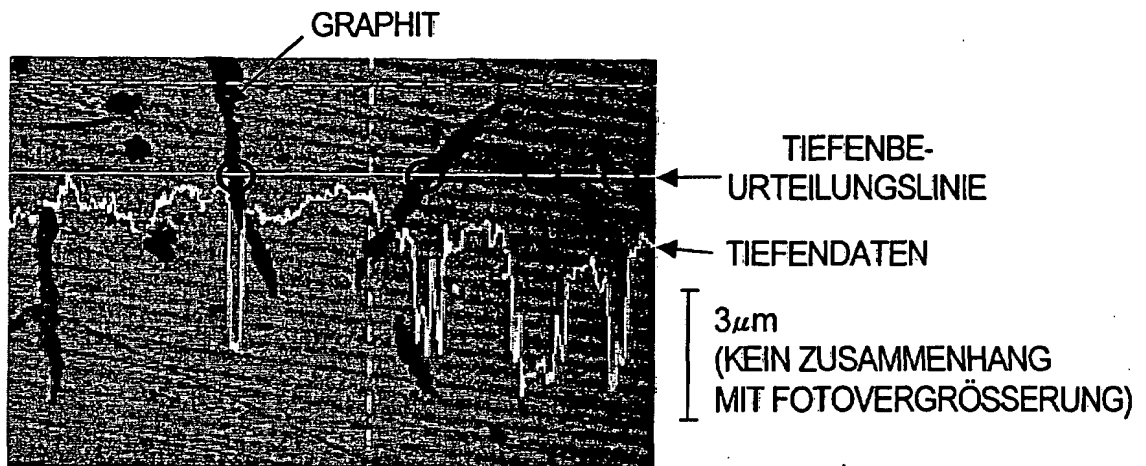


FIG. 12



(x100)

FIG. 13



63

03.05.03

DE 100 85 168 T1

FIG. 14

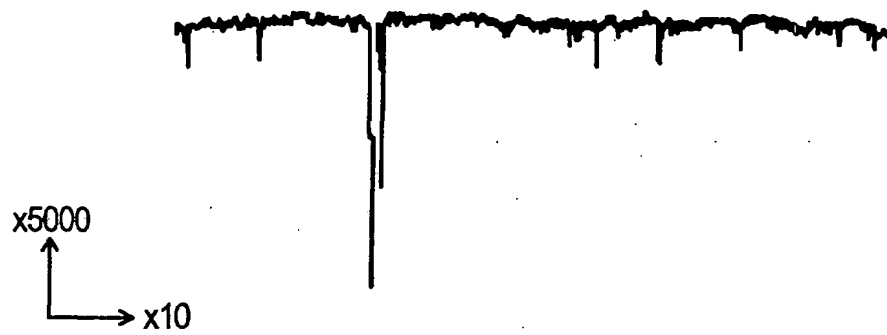
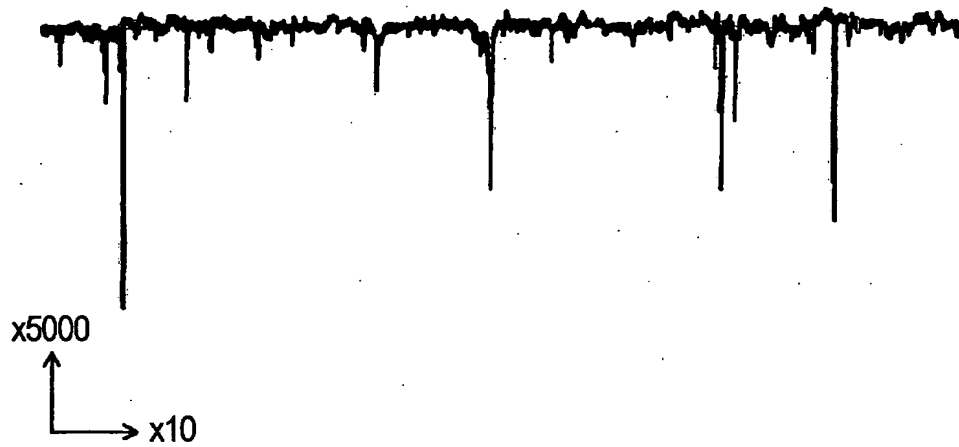


FIG. 15



64

03.05.03

DE 100 85 168 T1

FIG. 16B

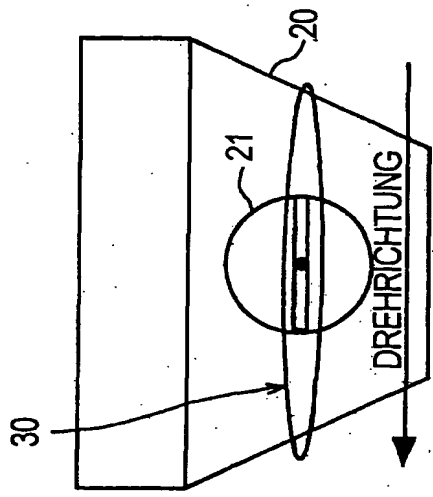
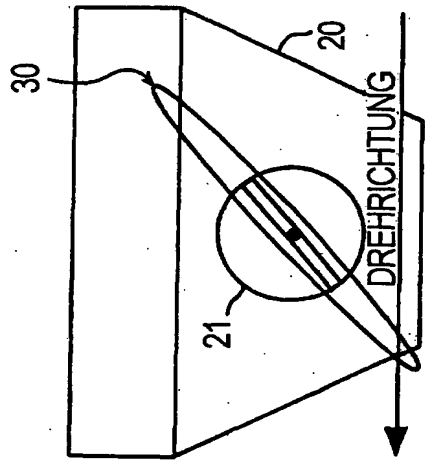


FIG. 16A



65

03-05-02

DE 100 85 168 TT

FIG. 17

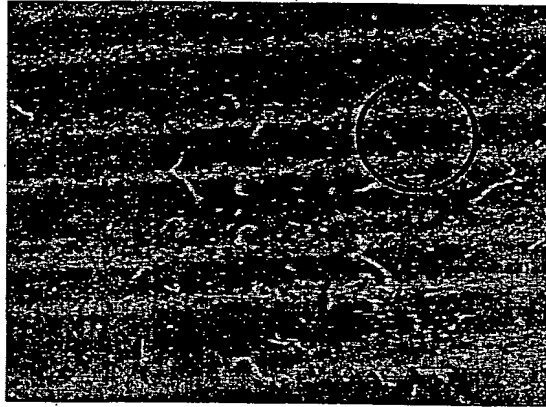


FIG. 18

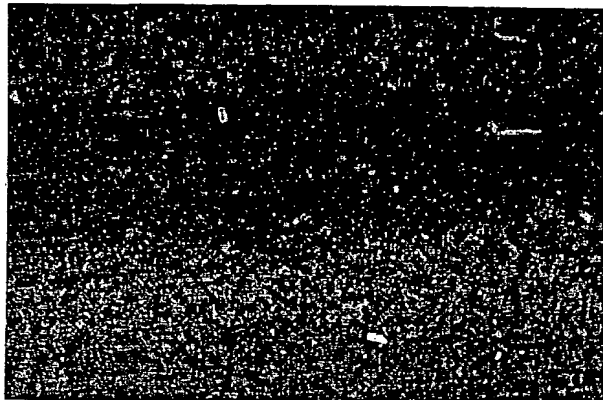


FIG. 19C

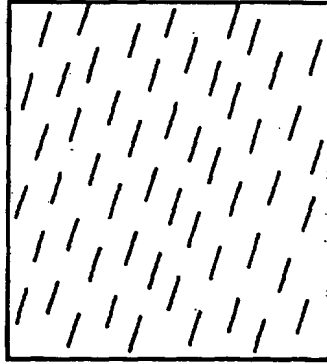


FIG. 19B

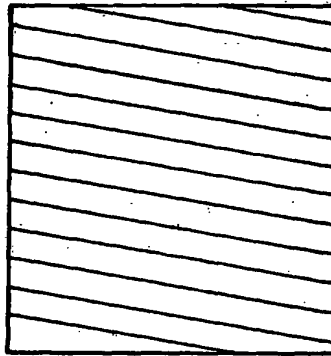


FIG. 19A

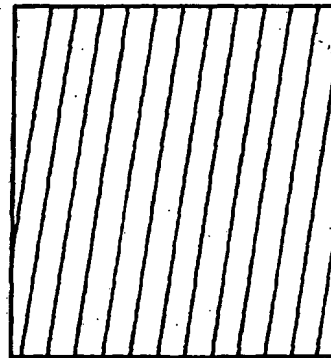


FIG. 19F

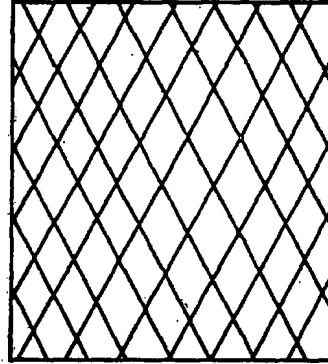


FIG. 19E

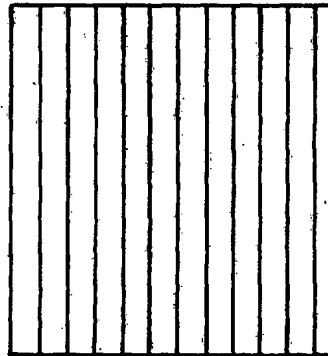
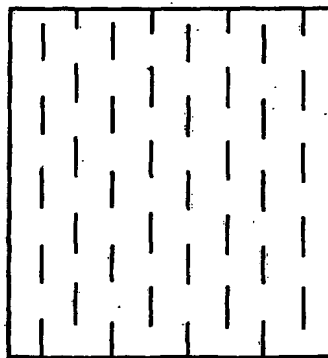


FIG. 19D



67

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 20

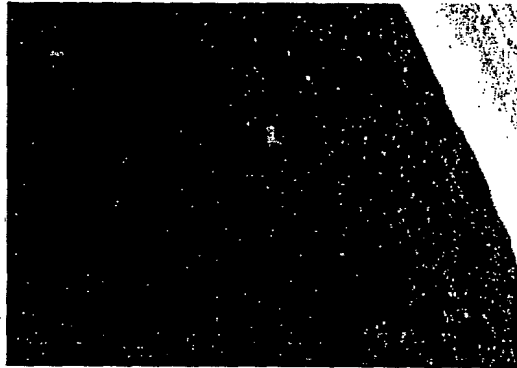
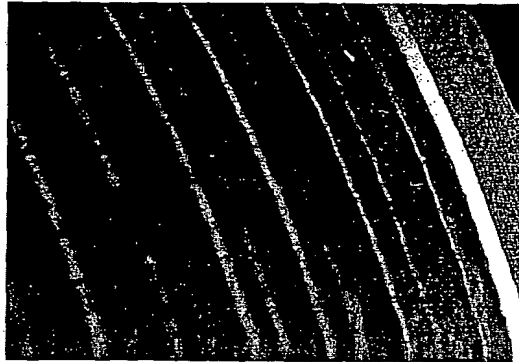


FIG. 21



68

03-05-02

DE 100 85 168 T1

FIG. 22

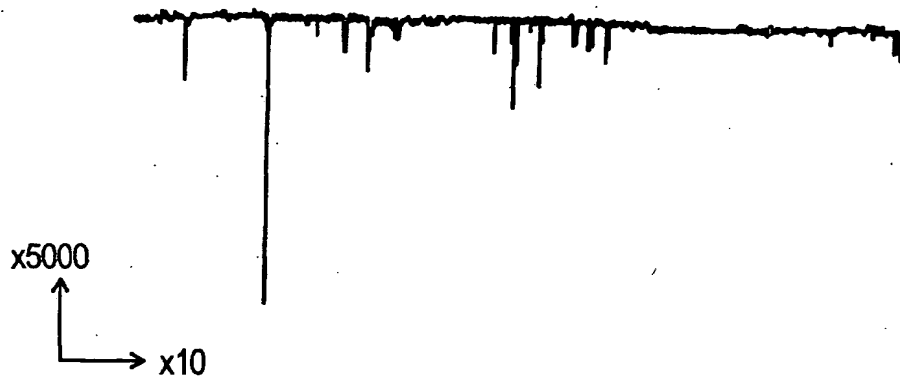
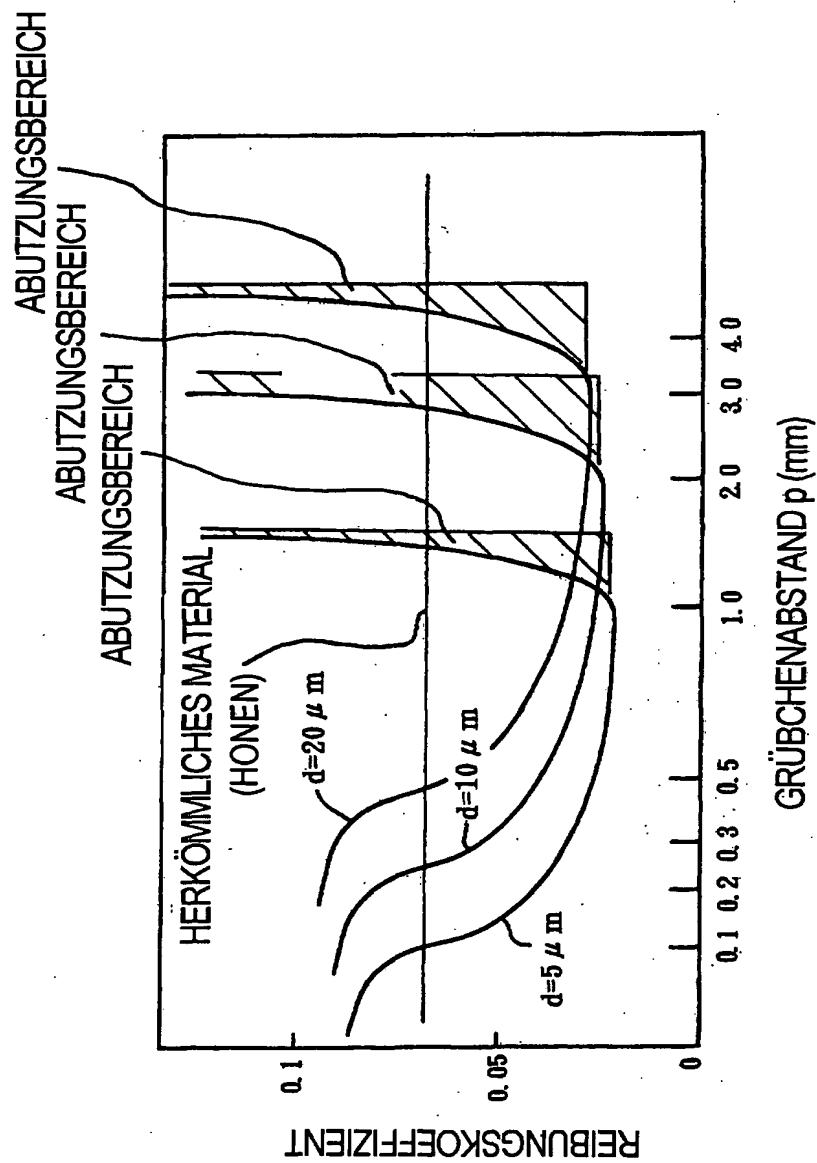


FIG. 23



70

03.05.02

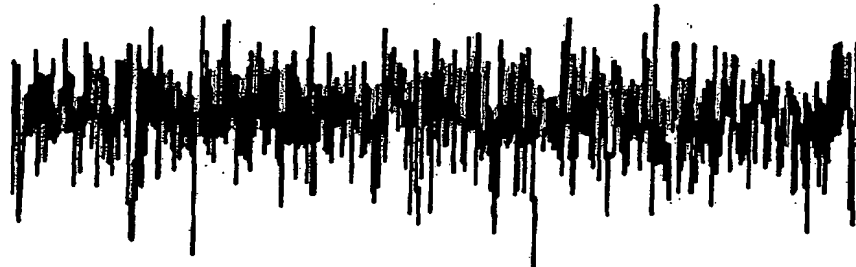
DE 100 85 168 T1

FIG. 24



$\times 1000$
↑
→ $\times 10$

FIG. 25



$\times 5000$
↑
→ $\times 10$

71

03-05-02

DE 100 85 168 T1

FIG. 26

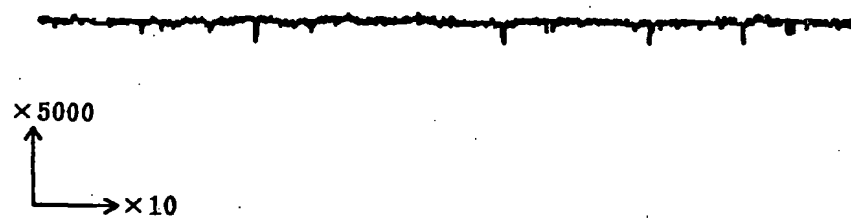
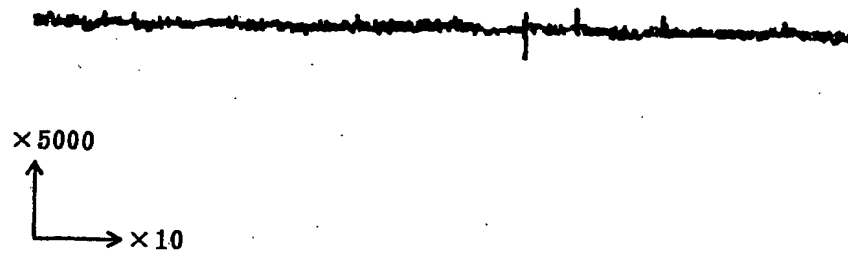


FIG. 27



72

03.05.02

DE 100 85 168 T1

FIG. 28

